



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis de diferentes procesos industriales sobre el
ecodiseño de un producto.

Analysis of the impact of different industrial processes
on the ecodesign of a product.

Autor

Alfonso Casas Albiñana

Directores

José Manuel Paricio Sánchez
Juan Antonio Peña Baquedano

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2018



DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Alfonso Casas Albiñana

con nº de DNI 03204560 Q en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado de Ingeniería Mecánica, (Título del Trabajo)

Análisis del impacto de diferentes procesos industriales sobre el ecodiseño de un producto.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 20 de Septiembre de 2018

Fdo: Alfonso Casas Albiñana

Resumen.

El objetivo de la realización de este proyecto, es la realización de una comparación de tres procesos de fabricación distintos, teniendo como base y ámbito de trabajo el ecodiseño. A su vez, uno de los motivos de la realización de este proyecto es el poder establecer una metodología de trabajo sobre la que se pueda seguir desarrollando e investigando las características de ecodiseño, tanto ampliando los límites de estudio de los procesos de fabricación estudiados en este trabajo, como analizando otros procesos de fabricación distintos.

El primer paso del proyecto ha sido decidir que procesos de fabricación se estudiarían dentro de este trabajo. Tras valorar distintos procesos se decide trabajar con el proceso de mecanizado, el proceso de inyección de plásticos y la fabricación aditiva mediante impresión 3D, con el fin de abarcar procesos diferentes pero que se puedan desarrollar con el mismo material.

En la siguiente fase se estudia el proceso de un Análisis del ciclo de vida para tener una visión más amplia y adquirir conocimientos para desarrollar el proyecto, a su vez se realiza una búsqueda de programas con los que desarrollar el ACV tomando la decisión de usar el programa OpenLCA.

Definidos tanto los distintos procesos de fabricación a estudiar como el software para desarrollar el ACV, se estudian diferentes modelos de piezas posibles para tener una base sobre la que desarrollar los distintos procesos de fabricación sobre las mismas condiciones resultando en la piezas Sujeción Cónica y Sujeción L. A continuación se realiza una búsqueda detallada sobre los distintos tipos de materiales de trabajo de los distintos procesos para seleccionar uno que pueda ser usado en los tres procesos, quedando de esta forma el nylon PA6 como material de las piezas.

Una vez realizada toda esta tarea que se puede considerar previa a la parte principal del trabajo, pero que es de suma importancia para poder obtener unas conclusiones y unos resultados que sean comparables, se realizan las distintas simulaciones de los procesos de fabricación lo que ha conllevado un estudio de las distintas fases que se dan en cada proceso.

Como el estudio se centra en los procesos de fabricación, para obtener unos resultados con los que realizar el ACV, se pone el foco en el consumo que requiere cada proceso para tener un parámetro de referencia y de fácil comparación.

Tras realizar los distintos ACV, se somete a los resultados a un análisis crítico siguiendo el desarrollo especificado para un ACV. Tras un estudio de los resultados finales obtenidos y el desarrollo de las conclusiones, con el fin de aportar otros enfoques, se desarrollan distintas ideas de mejoras de los procesos de fabricación centrándose en las características propias de cada uno de ellos, de forma que se consiga disminuir las emisiones y su consiguiente impacto en el medio ambiente.

Como conclusiones, se observa que se cumplen los objetivos de comparar y analizar los distintos procesos de fabricación, y se obtiene el proceso de fabricación que menos emisiones de CO_2 produce, para este tipo de geometría, material, etc. Se muestra como es necesario establecer dentro del proceso de diseño y fabricación, el desarrollo de un “rediseño medioambiental”.

Agradecimientos.

A mi familia, fundamentalmente a mis padres y mi hermano que me han apoyado durante todos estos años y siempre me han animado a esforzarme durante todo este tiempo. Mención también para mis abuelos, especialmente a Alberto que a pesar de no haberle conocido ya que ha sido una razón fundamental para estudiar ingeniería, y también a Carmelo que siempre ha sido y sigue siendo un referente para mí.

También quiero tener un especial agradecimiento y recuerdo para María Luisa Guerrero, mi primera tutora, que a pesar de ya no estar con nosotros, me animó y ayudó en mi primer año de esta larga carrera de fondo y me empujó a seguir adelante.

A los amigos que me han acompañado en estos años, a Alfonso, Álvaro, Gema y Kiko en los inicios duros en ICAI, con todas esas horas de academia y de juicios en la biblioteca. También a Javi, Laura, María, Juan y Mario que han sido un gran apoyo durante el tiempo que he pasado en Zaragoza.

Agradecer también a muchos otros que me han acompañado y ayudado durante estos años como Antonio, Testón, Oscar, Elías y muchos más. Agradecer a Ismael, operario del laboratorio de fabricación, por su ayuda a la hora de definir los distintos parámetros en el proceso de mecanizado, y también agradecer a los profesores Emilio y María José, por facilitarme el acceso y el uso del aula de ordenadores del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación.

Por último, a José Manuel y a Juan, directores de este proyecto, que me han ayudado y guiado para llevar a cabo este trabajo y me han dado la oportunidad de trabajar con ellos.

Índice

Resumen.....	1
Agradecimientos.	3
1. Introducción.	6
1.1. Objetivo.....	7
2. Estado del arte.	8
2.1. Análisis del ciclo de vida (ACV).....	8
2.1.1. Metodología.....	9
2.2. Material de las piezas.....	10
2.2.1. Nylon PA6.....	10
2.3. Procesos de Fabricación.....	11
2.3.1. Proceso de Mecanizado.	12
2.3.2. Proceso de Fabricación Aditiva.	13
2.3.3. Proceso de Inyección.....	14
2.4. Descripción de las piezas.....	15
2.5. Descripción de programas utilizados.	16
3. Realización de las simulaciones.	20
3.1. Pieza Sujeción L.	20
3.1.1. Mecanizado.	20
3.1.2. Impresión 3D, FDM.	26
3.1.3. Inyección.	31
3.2. Pieza Sujeción Cónica.....	38
3.2.1. Mecanizado.....	38
3.2.2. Impresión 3D, FDM.	46
3.2.3. Inyección.	51
3.3. Análisis de Ciclo de Vida.....	57
3.3.1. Análisis de Ciclo de Vida: Sujeción L.....	58
3.3.2. Análisis de Ciclo de Vida: Sujeción Cónica.....	63
4. Conclusiones.....	66
4.1. Posibles mejoras.....	69
5. Bibliografía.	75

6.	Índice de Ilustraciones.....	78
7.	Índice de Tablas.....	81
8.	Anexos.....	83
8.1.	Anexo I: Análisis de Ciclo de Vida.....	84
8.2.	Anexo II: Proceso de Inyección.....	92
8.3.	Anexo III: Hojas de procesos.	95
8.4.	Anexo IV: Elección del material.....	96
8.5.	Anexo V: Dimensiones comerciales de materia prima.	97
8.6.	Anexo VI: Proceso de uso de los programas.	100
8.7.	Anexo VII: Parámetros de impresión 3D.	104
8.8.	Anexo VIII: Valores EICV.	108
8.9.	Anexo IX: Planos de las piezas.....	110

1.Introducción.

En la actualidad, se puede observar como existe una preocupación por todo lo referente al cambio climático, tanto dentro de la sociedad y, como consecuencia de esto, en toda la industria y en los gobiernos que comienzan a dirigir sus esfuerzos a reducir sus emisiones usando nuevas técnicas y materiales de fabricación y abriendo paso a métodos menos dañinos para el medio ambiente.

En el caso de las emisiones de CO_2 a la atmósfera, como se puede apreciar en la siguiente gráfica, se incrementan año tras año lo que supone un gran problema que se intenta enfrentar de distintas formas.

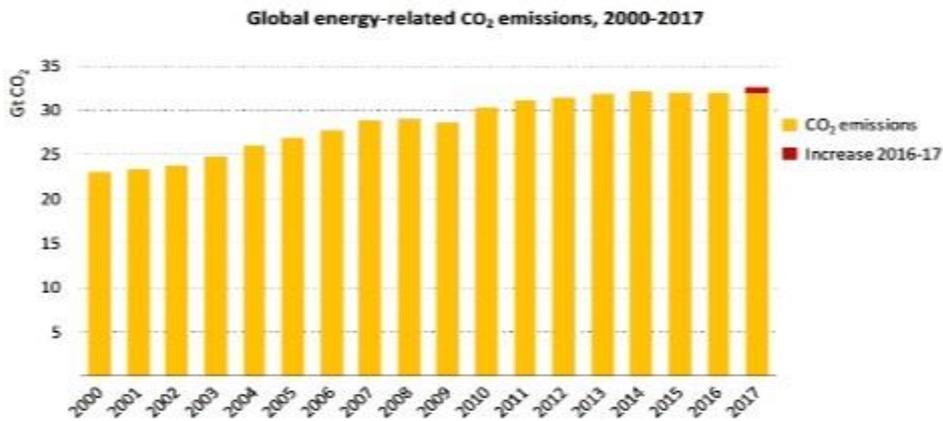


Ilustración 1. Emisiones CO_2 . Fuente: Diario Expansión, blog "Cambio climático y economía"

En el ámbito empresarial se denota que no solo el consumidor comienza a demandar productos que sean lo más respetuosos con el medio ambiente que sea posible, “*eco-friendly*”, sino que a su vez los distintos gobiernos están comenzando a aplicar directrices más restrictivas en lo referente a emisiones y asumiendo compromisos de reducción de emisiones como pueden ser el Protocolo de Kioto que entró en vigor en 2005 y finalizó en 2012, o el Acuerdo de Copenhague que amplía y prosigue al anterior con nuevos objetivos para el 2020 y 2050.



Ilustración 2. Cumbres sobre Cambio Climático. Fuente: www.energíaysociedad.es, ONU.

1.1. Objetivo

El objetivo de este proyecto es realizar una comparación en términos de ecodiseño entre tres procesos de fabricación distintos, por medio de la herramienta Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Con este fin, se elegirán diseños concretos para dos piezas mecánicas, que son ejemplos de posibles utillajes, y serán utilizados como instrumentos para poder comparar los diferentes procesos. Una vez definidos los diseños de las piezas, se establecerán los procesos de fabricación paso a paso por cada uno de los tres métodos con todo detalle. En este punto se someterán los procesos al ACV obteniendo resultados de emisiones.

Los resultados que se van a obtener y a partir de los que se van a obtener las conclusiones, son los gases de efecto invernadero. Especialmente las emisiones de dióxido de carbono CO₂, que se produzcan en los distintos procesos de fabricación escogidos, siendo estos:

- Mecanizado.
- Fabricación Aditiva.
- Inyección.

A partir de los datos obtenidos, partiendo en todos los casos del mismo material, se realizará una comparación entre los diferentes procesos para definir cuál de ellos, en los casos concretos que nos ocupan es el que afecta menos al medio ambiente. A la vez que se apreciará el comportamiento de los distintos procesos en dos geometrías observando cómo influyen las distintas características de cada una en los datos obtenidos.

Una vez realizados estos análisis se podrá obtener un factor multiplicador que relacione las emisiones de dióxido de carbono entre los diversos procesos en el marco delimitado para este trabajo, no tratándose en esta cosa de un análisis de costes.

2. Estado del arte.

Dentro de este apartado denominado como estado del arte o estado de la técnica, se van a definir tanto los distintos procesos de fabricación realizados a las piezas así como el análisis del ciclo de vida y el material. También se incluye una pequeña descripción de las piezas, las cuales se encuentran más detalladas en el Anexo IX: Planos de las piezas.

2.1. Análisis del ciclo de vida (ACV).

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo. La SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) define el Análisis de Ciclo de Vida como un “proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno, para determinar su impacto en el medio ambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora medioambiental”(54).

A su vez, en la norma UNE-EN ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia), se define el Análisis de Ciclo de Vida como una técnica que trata los aspectos medioambientales y los impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida mediante:

- Recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto.
- Evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con las entradas y salidas.
- Interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto.

Una ventaja clara de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es que permite detectar situaciones en las que un determinado sistema industrial parece más limpio que otro simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o regiones, sin una mejora real. El mayor impacto ambiental de un producto no siempre se produce durante su fabricación.

A pesar de que todos los ACV deben cubrir las mismas etapas, el nivel de detalle no es el mismo, lo que da lugar a tres tipos de ACV:

- ACV conceptual. Es el más sencillo. Es un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos más significativos.
- ACV simplificado. Se aplica la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo, seguido de una simplificación y un análisis de la fiabilidad de los resultados.
- ACV completo. Se realiza un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa.

2.1.1. Metodología

La metodología que ha seguirse para la realización de un ACV está totalmente estandarizada a través de las norma de referencia:

- Norma UNE-EN ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006).
- Norma UNE-EN ISO 14044 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006).

De acuerdo a la norma ISO 14040:2006, la metodología general del ACV consta de 4 fases fundamentales:

- Etapa 1. Definición de Objetivos y Alcance del ACV.
- Etapa 2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.
- Etapa 3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.
- Etapa 4. Interpretación del Ciclo de Vida.

El ACV se describe de forma más detallada en Anexo I: Análisis de Ciclo de Vida.



Ilustración 3. Esquema ACV de un producto. Fuente: www.ecointeligencia.com.

2.2. Material de las piezas.

Al escoger un material para ambas piezas en los diferentes procesos de fabricación, se tiene que escoger el mismo material en todos los casos de forma que los resultados obtenidos en los distintos análisis puedan ser comparables. Dentro del posible arco de materiales disponibles que puedan ser aptos para el mecanizado, la fabricación aditiva y la inyección, se ha optado por el nylon PA6.

La explicación de la elección del nylon PA6 frente a otros materiales comerciales se basa en sus buenas propiedades mecánicas y en su elevada temperatura de fusión frente a otros plásticos como viene detallado en el Anexo IV: Elección del material.

2.2.1. Nylon PA6

El material conocido como Nylon, es un polímero termoplástico perteneciente a la familia de las poliamidas, y es artificial. Se trata de un polímero semicristalino con buenas características mecánicas, alta tenacidad y resistencia al desgaste, pudiendo soportar la acción de químicos bastante corrosivos y se genera mediante la policondensación de un diácido con una diamina. El Nylon 6, también denominado como PA 6 (Poliamida 6), es el más conocido de entre todos los plásticos técnicos. Sus principales características son:

- Resistencia mecánica, dureza, rigidez y buena tenacidad.
- Fuerte capacidad de amortiguación mecánica y resistencia a la fatiga.
- Buenas propiedades de deslizamiento y resistencia al desgaste.
- Elevada absorción de humedad.
- Estabilidad dimensional reducida.
- Puede funcionar sin lubricación.
- Es autoextinguente y puede ser modificado mediante aditivos.
- Aislante eléctrico.

El uso del nylon está muy extendido dentro de la industria ya que presenta una gama de aplicaciones muy diversas, como las siguientes:

- Asientos de válvulas, engranajes, cojinetes.
- Tornillos, bujes, poleas, levas o arandelas.
- Arrollamientos, bobinas y bloques terminales.
- Piezas de aislamiento eléctrico.
- Barras de nylon para mecanizar.
- Se emplea en moldes de piezas por inyección.

2.3. Procesos de Fabricación.

Un proceso de fabricación es el conjunto de operaciones que son necesarias para modificar las características de las materias primas y obtener un producto final, según unas especificaciones de diseño y con el apoyo de ciertos recursos productivos dentro de un sistema de fabricación. Las características de las materias primas pueden ser muy variadas tales como la forma, la densidad, el tamaño o la resistencia.

De entre los distintos procesos de fabricación presentes en la industria de los cuales se pueden observar ejemplos en la Ilustración 4, se ha realizado el estudio partiendo del proceso de mecanizado, el de inyección y la fabricación aditiva. Estos presentan características y aplicaciones distintas que abarcan una gran parte de los procesos que se pueden encontrar hoy en día. En cualquier caso, la rama de la fabricación se encuentra siempre en una continua evolución. Los avances en la manufactura de los materiales mediante la implementación de nuevas técnicas sirven para atender a las distintas necesidades manifestadas dentro de la sociedad.

En concreto, se han escogido estos tres procesos, ya que a pesar de ser diferentes entre sí, si permiten el uso de distintos materiales, y en este caso permiten el uso de un material común como materia prima que es el nylon. En la siguiente imagen se muestran diferentes procesos de fabricación para obtener un producto final.

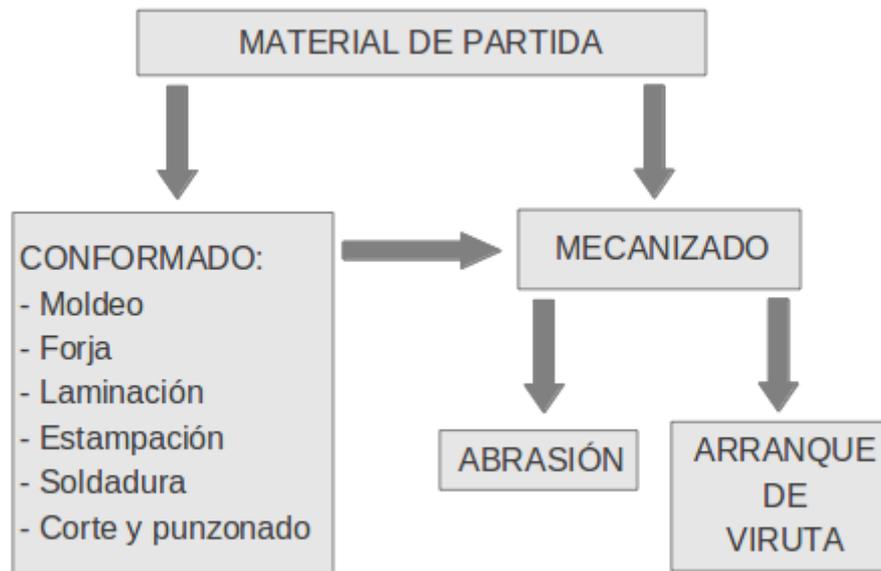


Ilustración 4. Procesos de Fabricación. Fuente: IMH.

2.3.1. Proceso de Mecanizado.

El mecanizado es el conjunto de técnicas mediante a las que se da la forma definitiva a las piezas mediante el arranque de material. Las técnicas utilizadas en el procesamiento de plásticos mediante mecanizado se basan en las aplicadas en el mecanizado del metal y de la madera.

El mecanizado de plásticos presenta ciertas diferencias frente a otros materiales como son los posibles problemas surgidos durante el proceso, principalmente enfocados en el desgarre y el calentamiento de la pieza. Para evitar los desgarros el mecanizado tiene que realizarse a altas velocidades y los radios de curvatura en el plegado y curvado deber ser grandes, a su vez para prevenir los problemas causados por el calentamiento de la pieza se debe utilizar un refrigerante adecuado y las herramientas de corte deben tener resistencia al calor y al desgaste.

Como se ha visto en apartados anteriores el material elegido para la pieza es el nylon PA 6, que se trata de un termoplástico perteneciente al grupo de las poliamidas, siendo estos menos abrasivos a las herramientas de corte que los termoestables.

Para el mecanizado del nylon es necesario el uso de una geometría específica tanto en las brocas utilizadas en el taladrado como en el diseño de la herramienta de torneado:

Geometría de la broca				
Material	Ángulo de rebaje	Ángulo sólido	Despeje	Rebaje
Resinas de poliamida	17°	70° - 90°	9° - 15°	0°

Tabla 1. Geometría de la broca.

Diseño de herramienta de torneado			
Material	Ángulo de incidencia lateral	Ángulo de incidencia extremo	Ángulo de rebaje
Poliamida	5° - 20°	15° - 25°	-5° - 0°

Tabla 2. Diseño de herramienta de torneado.

Los parámetros de mecanizado referentes tanto a las velocidades de corte, el avance o la profundidad de corte tanto para los procesos de torneado como de taladrado parten de los facilitados por los operarios del propio taller de la universidad así como de los encontrados en diversas publicaciones (Industria del plástico: plástico industrial / Richarson & Lokensgard; Richarson, Terry L.)(5).

2.3.2. Proceso de Fabricación Aditiva.

La Fabricación Aditiva es una tecnología que consiste en la fabricación de piezas mediante aporte de material, se trata de una técnica que es una evolución de la Fabricación Rápida. Es un nuevo concepto a través del cual el material se deposita capa a capa allí donde es necesario. Hoy en día se presenta como una revolución industrial extendiéndose cada vez a más sectores para la fabricación de prototipos. Las ventajas que aporta la fabricación aditiva principalmente son:

- Rapidez desde la concepción del componente a su fabricación.
- Rentabilidad en la fabricación de series cortas y prototipos.
- Personalización del producto a bajo coste.
- Posibilidad de reparar piezas de alto valor añadido sin tener que volver a fabricarlas.

Existen muchos procesos de fabricación aditiva que se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Modo de aporte de material: predepositado, depositado, proyectado, etc.
- Tipo de material: Polvo, hilo, láminas, etc.
- Fuente de energía empleada: resistencias, arco, láser, etc.

Dentro de los diferentes procesos que existen los que se encuentran más desarrollados y están más extendidos son:

- Estereolitografía: el material se cura mediante polimerización activada por luz.
- Material jetting: pequeñas gotas del material son lanzadas para formar la pieza.
- Binder jetting: el agente de unión líquida se inyecta para unir materiales en polvo.
- Material extrusion: el material se aporta a través de una boquilla y se solidifica.
- Sheet lamination: laminación de hojas que se unen para formar la pieza.
- Powder bed fusion: usa energía para fusionar de forma selectiva las regiones de un lecho en polvo.
- Directed energy deposition: una boquilla aporta material que es fundido mediante el enfoque de una fuente de energía para construir el objeto.

	Vat Polymerization	Material Jetting	Sheet Lamination	Binder Jetting	Material Extrusion	Direct Energy Deposition	Powder Bed Fusion
Plástico	✓	✓		✓	✓		✓

Tabla 3. Procesos de Fabricación Aditiva para plásticos.

Para este proyecto la técnica elegida se conoce comúnmente como impresión 3D, que se trata de Fused Deposition Modeling (FDM) también denominado Material Extrusion. Este proceso se ha escogido porque se trata de una técnica muy expandida y que permite el uso del nylon PA6 como material de aporte, sin que se requieran unos parámetros de fabricación para la máquina de impresión 3D con los que resulte muy difícil la obtención de las piezas.

2.3.3. Proceso de Inyección.

A la hora de optar por realizar la pieza mediante un proceso de inyección de plásticos es necesario tener en cuenta las distintas características del material siendo una de ellas el grado de contracción que tiene el nylon (PA 6), que es de $0,01-0,015 \text{ mm/mm}$ [1–1,5%] por lo es necesario escalar el molde dentro del cual se inyecta la pieza.

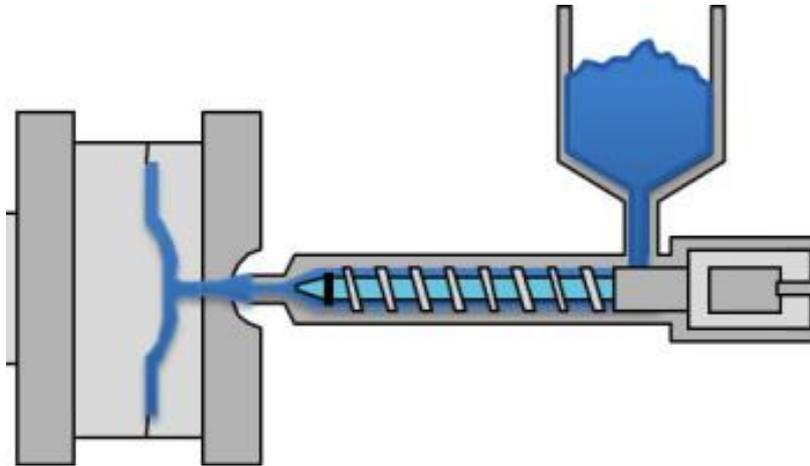


Ilustración 5. Inyección. Fuente: www.todopolimeros.wordpress.com.

El proceso de inyección constituye uno de los principales procedimientos para convertir plásticos en productos útiles en cuanto a volumen de fabricación. El moldeo por inyección consiste básicamente en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde, donde se enfría hasta una temperatura en la que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse. El proceso está formado por las siguientes fases que se encuentran detalladas de forma más específica en el Anexo II: Proceso de Inyección.

- Cierre del molde.
- Inyección del material.
- Aplicación de presión de sostenimiento o compactación.
- Plastificación del material para la siguiente inyección.
- Enfriamiento de la pieza, apertura de molde y expulsión.
- Cierre de molde y repetición del ciclo.

Dentro de los distintos materiales que pueden ser usados en el proceso de inyección cada uno presenta unas características que tienen que ser tomadas en cuenta para que el proceso se realice de forma idónea y los parámetros del mismo se encuentren correctamente definidos.

MATERIAL	TEMP. FUNDIDO (°C)	TEMP. MOLDE (°C)	VEL: DEL TORNILLO RPM	PRESIÓN Kg/cm ²	ENCOGIMIENTO mm/mm	SECADO
Nylon (PA 6)	222-274	38-93	Máxima	3.5-7.033	0.001-0.015	Si

Tabla 4. Plástico en Ingeniería. Fuente 5.

MATERIAL	Tg (°C)	Tc (°C)	Tm (°C)	Tx (HDT)(°C)	Difusividad (cm ² s ⁻¹)
Nylon (PA6)	50	250	80	180	0.98 * 10 ⁻³

Tabla 5. Datos requeridos para determinar el tiempo de enfriamiento. Fuente 5.

MATERIAL	TEMP. FUNDIDO (°C)	TEMP. MOLDE (°C)	ΔT	CALOR ESPECÍFICO J/KgK	CALOR A REMOVER J/g
Nylon (PA 6)	250	80	170	3060	520

Tabla 6. Valores de contenido de calor para algunos termoplásticos. Fuente 5.

2.4. Descripción de las piezas.

Las piezas que se han escogido para realizar el proyecto son de diseño propio a partir de las indicaciones realizadas por los directores de este proyecto, partiendo una de ellas del prototipo de madera representado en la Ilustración 8.

Los diseños realizados sobre los que se van a realizar los análisis se han definido como Sujeción Cónica y Sujeción L y son los que se muestran en la Ilustración 6 y en la Ilustración 7, quedando completamente detallados en el Anexo IX: Planos de las piezas.



Ilustración 8. Fuente propia.

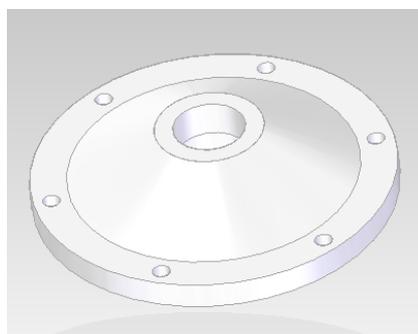


Ilustración 6. Fuente propia: Sujeción Cónica.

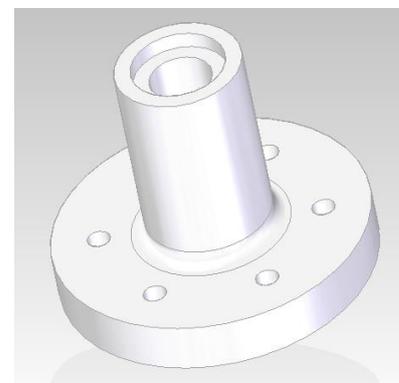


Ilustración 7. Fuente propia: Sujeción L.

2.5. Descripción de programas utilizados.

Como ayuda a la hora de analizar cada uno de los tres procesos de fabricación, así como para realizar el Análisis de Ciclo de Vida y obtener los diseños de las piezas, se han usado distintos programas para obtener los resultados. Estos programas son:

Autodesk Moldflow Adviser 2016. Inyección de plásticos.

El software conocido como Autodesk Moldflow Adviser se trata de un programa de Autodesk enfocado al ámbito de la inyección y que proporciona orientación de fabricación y aporta una retroalimentación de información para la realización de piezas estándar y el diseño de moldes. En este proyecto se trabaja con la versión Autodesk Moldflow Adviser 2016 en su versión educacional ya que es facilitada de forma gratuita.

Los requisitos del sistema necesarios son:

- Sistema operativo:
 - Autodesk Moldflow 2016 es compatible con sistemas operativos de Windows de 64 bits.
- Especificaciones del sistema: Las mínimas recomendadas son:
 - Velocidad de la CPU: 2 GHz o superior.
 - Memoria principal (RAM): 8GB o más.
 - Memoria virtual / espacio de intercambio: 4 GB o más.
 - Espacio en disco: 12 GB o más de espacio libre en disco, como mínimo 2 GB para su instalación.
 - Explorador web: Internet Explorer 9.0 o posterior.
- Requisitos de la tarjeta gráfica: los requisitos mínimos para obtener simulaciones aceptables son:
 - DRAM de 512 MB o superior, tarjeta gráfica compatible con OpenGL.
 - Configurador de color de 24 bits de 1280 x 1024 o superior, para la resolución de pantalla.

Ultimaker Cura 3.3.1. Impresión 3D

Ultimaker Cura es un software destinado a la impresión 3D, que permite una integración de CAD sin inconvenientes con otros programas como SolidWorks, Siemens NX o Autodesk. Es un programa que permite gestionar y programar de forma automática trabajos de impresión en varias impresoras mejorando la eficiencia y la planificación de la producción. Se trata de un software gratuito que ha sido desarrollado por la casa fabricante de impresoras Ultimaker, aunque es compatible con impresoras 3D de otras marcas, lo que hace que se encuentre muy extendido.

La versión escogida ha sido la más reciente cuando se ha realizado la simulación del proceso de impresión 3D, siendo esta la 3.3.1. Los requisitos del programa son:

- Sistemas operativos compatibles:
 - Windows Vista o posterior (64 bits).
 - Mac OSX 10.7 o posterior (64 bits).
 - Linux Ubuntu 14.04, Fedora 23, OpenSuse 13.2, ArchLinux o posterior (64 bits).

- Requisitos del sistema:
 - Chip gráfico compatible con OpenGL 2.
 - Intel Core 2 o AMD Athlon 64 o posterior.
 - Al menos 4 GB de RAM (recomendable 8 GB o más).

- Tipos de archivos compatibles:
 - STL.
 - OBJ.
 - 3MF.
 - G-code.

Siemens NX 9.0. Mecanizado.

Siemens NX es el programa con el que se van a realizar las simulaciones para el mecanizado de las piezas, en concreto se usa su módulo de fabricación ya que es un programa muy amplio que puede abarcar todo el desarrollo de una pieza, tanto el CAM (que es para lo que se va a usar), como el CAD y el CAE.

- La configuración recomendada del sistema es:
 - Sistema operativo Windows 7 o Windows 10 de 64 bits.
 - 4 GB de RAM como mínimo, aunque es recomendable 8 GB o 16 GB.
 - True Color (32 bits) o 24 bits.
 - Resolución de pantalla 1280 x 1024 o superior, formato widescreen.

La mayoría de los problemas de la plataforma están relacionados con los gráficos, por lo que es fundamental que todos los adaptadores de gráficos dispongan de controladores OpenGL.

Este programa está desarrollado por Siemens PLM y no cuenta con licencia para estudiantes aunque si presenta una prueba gratuita de 30 días. A pesar de que hay versiones más actuales de este programa, debido al hecho de que no se trata de un software gratuito, se ha usado su versión NX 9.0 que es la que se encuentra disponible con licencia en la sala de ordenadores del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación.

OpenLCA 1.7.0. Análisis de Ciclo de Vida.

El programa OpenLCA se trata de un software de código abierto dedicado a la evaluación del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) y a la evaluación de la sostenibilidad.

El software ha sido desarrollado por GreenDelta desde 2006 y como software de código abierto, está disponible de forma gratuita. Como complemento se dispone de openLCA Nexus, que se trata de un repositorio online en el que se facilitan bases de datos gratuitas existentes en el mercado para el análisis del ciclo de vida. Permite su uso para distintas aplicaciones como pueden ser:

- Huella de carbono y de agua.
- Declaración Ambiental de Producto, DAP (EPD por sus siglas en inglés).
- Política de productos integrada.

Sus requisitos de instalación son:

- Para sistemas Windows:
 - CPU con 2 GHz o superior.
 - 1 GB de RAM en el caso de análisis de sistemas de producto con alrededor de 2500 procesos, como la base de datos Ecoinvent 2.
 - Más de 3 GB de RAM para análisis de sistemas de producto similares a Ecoinvent 3.
 - 6 GB de RAM para análisis de sistemas de producto como Ecoinvent 3.4 o Psilca.
 - 500 MB de espacio libre para el programa más el espacio necesario para las distintas bases de datos que se vayan a usar.

SolidEdge ST8. Diseño de piezas.

SolidEdge ST8 se trata de un programa que se usa para el diseño asistido por ordenador de piezas, lo que se conoce comúnmente como CAD, es un software desarrollado por Siemens PLM, y en este caso se trabaja con la versión de estudiante ya que si es necesaria una licencia para su uso.

Es un software que presenta muchas posibilidades como puede ser el diseño mediante modelado ordenado o mediante modelado síncrono. También tiene otras utilidades como el diseño de chapa o el diseño de conjuntos, o por ejemplo la generación de planos.

Los requisitos del programa para el sistema de hardware son:

- Configuración recomendada del sistema:
 - Sistema operativo Windows 10 de 64 bits.
 - 8 GB de RAM o más.
 - True Color (32 bits) o 24 bits.
 - Resolución de pantalla 1280 x 1024 o superior, formato widescreen.

- Configuración mínima del sistema:
 - Cualquier sistema operativo de 64 bits.
 - 4 GB de RAM o superior.
 - Resolución de pantalla 1280 x 1024 o superior.
 - 6 GB de espacio libre para su instalación.

No es necesario que Internet Explorer sea el navegador predeterminado, y algunos comandos de SolidEdge requieren Microsoft Excel.

3. Realización de las simulaciones.

Dentro de este capítulo se realizan las distintas simulaciones de los procesos elegidos mediante los programas expuestos en el apartado 2.5. Se estructura de forma que se realizan primero los procesos para la pieza Sujeción L, y después para la Sujeción Cónica. Una vez realizados los procesos, se realizan los análisis de ciclo de vida de cada pieza para estudiar los impactos que tiene cada proceso.

3.1. Pieza Sujeción L.

3.1.1. Mecanizado.

La geometría de la pieza de partida es una barra de nylon PA6 de *200 mm de diámetro por 154 cm de largo*, pudiéndose comprobar como dentro de la industria existen barras de tal diámetro y que se trata de una geometría comercial (Anexo V: Dimensiones comerciales de materia prima.). A la hora de mecanizar la *Sujeción L* el procedimiento a seguir se detalla en el Anexo III: Hojas de procesos., a partir del cual definimos las distintas operaciones realizadas y simuladas mediante el programa NX 9.0 para obtener los tiempos de actuación.

- **Operación 1: refrentado cara superior, superficie 1.**

Profundidad corte	Velocidad de husillo	Avance
2 mm	900 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 7. Parámetros Operación 1.

A partir de estos datos el tiempo de actuación calculado de forma teórica es:

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = \pi * \frac{r_f^2 - r_i^2}{1000 * f * v_c} = 13.33 \text{ seg}$$

Tomando como base de partida este dato, el tiempo obtenido mediante la simulación que tiene en cuenta el tiempo requerido para el desplazamiento de la herramienta de corte es:

$$t_{op1} = 15 \text{ segundos}$$

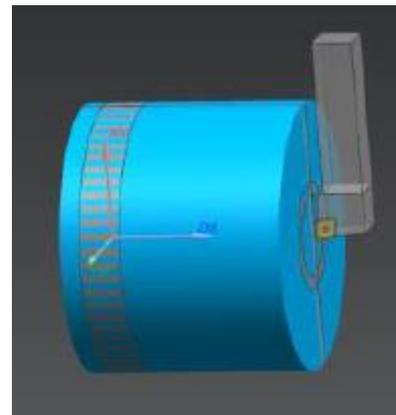


Ilustración 9. Operación 1 Sujeción L. Fuente propia.

- **Operación 2: desbaste superficie 2.**

Profundidad corte	Velocidad de husillo	Avance	n ° pasadas	Long. Pasada
5 mm	1000 rpm	0.5 mm/rev	12	120 mm

Tabla 8. Parámetros Operación 2.

El tiempo de actuación de forma teórica para cada una de las doce pasadas, y en su conjunto, es:

$$t_{pasada} = \frac{L_{mec}}{f * n} = 14.4 \text{ segundos}$$

$$t_{act} = 12 * t_{pas} = 172.8 \text{ seg}$$

El tiempo obtenido mediante la simulación con NX considerando el tiempo en el que la herramienta no arranca material es:

$$t_{op2} = 3 \text{ min } 14 \text{ seg} = 194 \text{ seg}$$

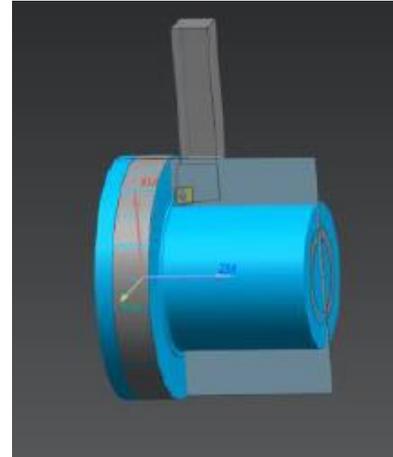


Ilustración 10. Operación 2 Sujeción L.
Fuente propia.

- **Operación 3: Acabado superficie 2.**

Velocidad de husillo	Avance
1000 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 9. Parámetros Operación 3.

El tiempo obtenido para la operación de acabado mediante la simulación es:

$$t_{op3} = 22 \text{ segundos}$$

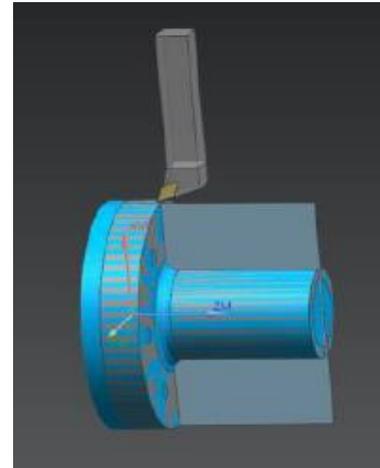


Ilustración 11. Operación 3 Sujeción L.
Fuente propia.

- **Operación 4: Taladrado superficies 7.**

Usando una broca de 15 mm siendo el avance $f = 0.25 \text{ mm/rev}$, la velocidad del husillo 1250 rpm y la longitud de mecanizado 30 mm , el tiempo obtenido para la operación de forma teórica es:

$$t_{act} = 6 * 5.76 = 34.56 \text{ seg}$$

El tiempo a partir de la simulación incluyendo el tiempo de movimiento sin arranque de viruta y dando la directriz para que la herramienta realice los distintos taladrados según la proximidad de estos es:

$$t_{op4} = 57 \text{ segundos}$$

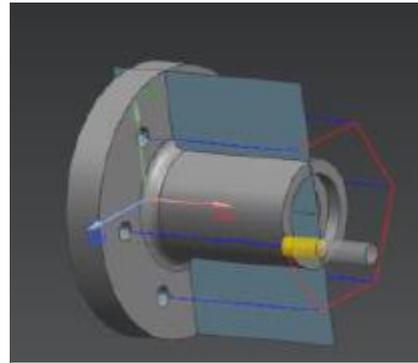


Ilustración 12. Operación 4 Sujeción L. Fuente propia.

- **Operación 5: Taladrado superficie 4.**

El taladrado de la superficie 4 se realiza mediante una broca de 40 mm de diámetro con los siguientes parámetros de velocidad y avance:

Velocidad de husillo	Avance
800 rpm	0.25 mm/rev

Tabla 10. Parámetros Operación 6

A partir de estos datos, tomando la longitud de mecanizado como 150 mm, obtenemos un tiempo de forma teórica para tener una referencia sobre el tiempo que nos muestra la simulación.

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = 45 \text{ segundos}$$

$$t_{op6} = 1 \text{ min } 13 \text{ seg} = 73 \text{ segundos}$$

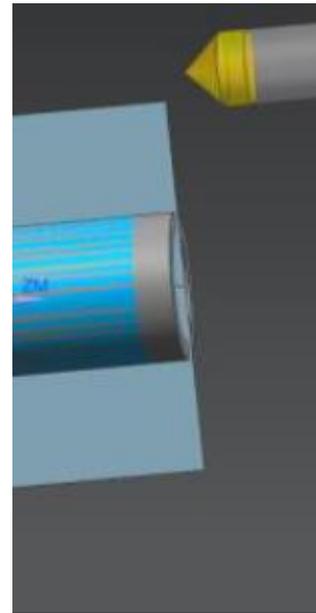


Ilustración 13. Operación 6 Sujeción L Fuente Propia.

- **Operación 6: Acabado interior de superficie 6.**

Para realizar el acabado de la superficie 6 se realizan dos pasadas de 5 mm cada una con una velocidad de husillo de 1600 rpm, con un avance $f = 0.5 \text{ mm/rev}$ y siendo la longitud de mecanizado 10 mm. El tiempo teórico de actuación de la herramienta es:

$$t_{act} = 2 * t_{pas} = 2 * \frac{L_{mec}}{f * n} = 1.5 \text{ segundos}$$

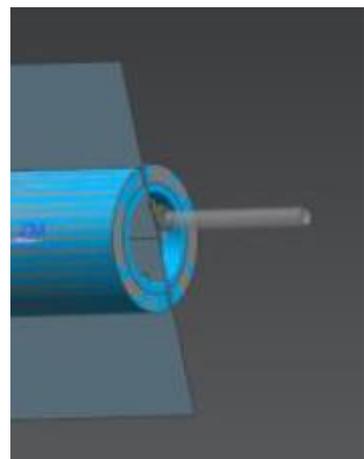


Ilustración 14. Operación 7 Sujeción L. Fuente propia.

Siendo en este caso el tiempo obtenido con la simulación:

$$t_{op7} = 3 \text{ segundos}$$

- **Operación 7: refrentado cara posterior, superficie 5.**

Después de posicionar la pieza de tal forma en que se facilite la realización de las operaciones restantes en la cara posterior, se procede con el refrentado de dicha cara, con los siguientes parámetros.

Profundidad corte	Velocidad de husillo	Avance
2 mm	900 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 11. Parámetros Operación 8.

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = \pi * \frac{r_f^2 - r_i^2}{1000 * f * v_c} = 13.33 \text{ seg}$$

A partir de la simulación realizada mediante el uso del programa NX.9.0 se obtiene un tiempo de operación de:

$$t_{op1} = 15 \text{ segundos}$$

- **Operación 8: Acabado interior de superficie 3.**

Se realizan dos pasadas de 5 mm de profundidad de corte cada una con los siguientes parámetros de operación:

Long. Mecanizado	Velocidad de husillo	Avance
10 mm	1600 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 12. Parámetros Operación 9.

Por tanto, el tiempo teórico de actuación de la herramienta es de *1.5 segundos*, siendo el tiempo obtenido con la simulación de *3 segundos*.

$$t_{act} = 2 * t_{pas} = 2 * \frac{L_{mec}}{f * n} = 1.5 \text{ segundos}$$

$$t_{op7} = 3 \text{ segundos}$$

Energía consumida en el mecanizado.

Una vez obtenido el tiempo de mecanizado para cada operación, se calcula la potencia de cada una de ellas, y a partir de ambos datos se consigue el valor de la energía consumida por el proceso de mecanizado como suma de la consumida en cada operación.

Para obtener la potencia se usa la fórmula:

$$P_c = K_s * Q$$

La constante K_s , al tratarse el nylon de un material no férrico, se toma del mismo orden que la del aluminio siendo esta fuerza de corte específica de entre $350 - 700 N/mm^2$ (Fuente: <https://www.dormerpramet.com>)(57). Con estos datos se define el valor de la constante K_s (fuerza específica de corte) como:

$$K_s = 400 N/mm^2$$

Desarrollando la fórmula anterior obtenemos la que se va a utilizar para realizar los cálculos:

$$P_c = K_s * Q = K_s * (v_c * A_c) = K_s * (f * a_p * v_c) [W]$$

Una vez obtenidas las potencias, se multiplican por los tiempos de operación. Los resultados representados en la Tabla 13 correspondientes a la energía consumida se muestran tanto en kWh como en MJ para lo que es necesario realizar las siguientes operaciones:

$$Energia [kWh] = \frac{Potencia [W]}{1000} * \frac{Tiempo [seg]}{3600}$$

$$Energia [MJ] = Energia [kWh] * \frac{1 MW}{1000 kW} * \frac{3600 seg}{1 hora}$$

Dentro del cálculo de la potencia, se le aplica un rendimiento intermedio del 75% al consumo durante las operaciones de la máquina, ya que el rendimiento en el mecanizado se sitúa en el entorno del 70-85% (Delgado Urrecho, J. Modelado y simulación del funcionamiento de la fresadora tipo A-16 de Nicolás Correa S.A. con Catia (2016). Trabajo de fin de grado. Valladolid, Escuela de Ingeniería Mecánica.)(3).

Operaciones	Potencia. [W]	Tiempo de operación. [seg]	Energía consumida. [kWh]	Energía consumida. [MJ]
1. Refrentado superficie 1.	3769.9104	15	0,01570796	0,056548656
2. Desbaste superficie 2. ¹	6361.7238	194	0,342826227	1.234174417
3. Acabado superficie 2. ²	6361.7238	22	0,038877201	0,139957924
4. Taladro superficies 7.	736,310625	57	0,011658252	0,041969706
5. Taladrado superficie 4.	3351.031467	73	0,067951471	0,244625297
6. Acabado superficie 6. ³	4607.668267	3	0,003839724	0,013823005
7. Refrentado superficie 5.	3769.9104	15	0,01570796	0,056548656
8. Acabado superficie 3. ⁴	4607.668267	3	0,003839724	0,013823005
Suma total:		382	0.500408518	1.801470665
Rendimiento			75 %	2.401960887

Tabla 13. Consumo mecanizado Sujeción L.

A partir de los datos obtenidos se realiza la siguiente tabla resumen para el proceso de mecanizado, teniendo en cuenta también la cantidad de material necesario, a partir del volumen de la pieza en bruto y de la densidad del nylon PA6 ($\rho_{PA6} = 1140 \text{ Kg}/m^3$), y el peso final de la pieza una vez ha sido mecanizada, dato que también se puede calcular de igual forma al anterior, pero que también es facilitado gracias al software SolidEdge.

Parámetros	Mecanizado
Peso en bruto [Kg]	5.515
Peso pieza [Kg]	1.482
Desperdicio [%]	73.1278
Tiempo requerido [seg]	382
Energía [kWh]	0.500408518
Energía [MJ]	1.801470665
Consumo total [MJ]	2.401960887

Tabla 14. Resumen mecanizado Sujeción L.

¹A la hora de obtener la potencia para la operación, al existir distintas pasadas, como cada pasada tiene la misma duración se ha tomado la media de la potencia entre todas las pasadas, y se ha multiplicado por el tiempo total de operación para obtener la energía consumida.

²Para la potencia de la operación 3, se ha tomado el valor de la necesaria en la operación 2 ya que mantiene los mismos parámetros de velocidad y avance.

³Mismo procedimiento que en la nota 1.

⁴Mismo procedimiento que en la nota 1.

3.1.2. Impresión 3D, FDM.

Para realizar la impresión 3D con nylon hay que tener en cuenta sus características especiales de servicio, las más destacables a la hora de configurar la impresión se centran tanto en la temperatura a la que se tienen que calentar el material como la temperatura a la que se tienen que mantener la cama de la impresora para evitar en lo posible fenómenos como el warping.

Estas temperaturas presentan valores más elevados a otros posibles materiales usados en impresión 3D como el PLA, el ABS o el PET, y pueden llegar a alcanzar el rango de 240-260 °C para la temperatura de calentamiento del material, y situarse en el entorno de los 70 °C para la temperatura de calentamiento de la cama.

Debido a estas complejidades en cuanto a las temperaturas que presenta el material, y sumado a que el nylon es un material que absorbe la humedad, se ha optado por impresoras profesionales que sean de tipo cerrado y destacando que se tiene que tener mucho cuidado a la hora de la manipulación y almacenaje del nylon teniendo que encontrarse este en un recipiente estanco para una mejor conservación.

Teniendo en cuenta estas características los parámetros con los que se va a realizar la impresión del material son:

Ajustes de impresión.	Nylon
Temperatura de impresión predeterminada.	245 °C
Temperatura predeterminada de la placa de impresión.	70 °C
Distancia de retracción.	8.00 mm
Velocidad de retracción.	45 mm/s
Temperatura en modo de espera.	175 °C
Velocidad del ventilador.	40 %

Tabla 15. Ajustes impresión. Nylon. Sujeción L.

Aparte de estas características, otro factor importante es el volumen de la pieza a imprimir, ya que restringe mucho las posibles impresoras 3D con la que realizar la impresión por causa de su gran tamaño.

Las simulaciones se realizan con el software Ultimaker Cura, explicado anteriormente en el punto Descripción de programas utilizados. Dentro de la gama de impresoras habilitadas por el programa para realizar las simulaciones se han cotejado las que cumplen con las capacidades y características comentadas anteriormente que a su vez presenten resoluciones elevadas, quedando de entre todas ellas las siguientes:

- Ultimaker S5.
- Raise 3D n2 plus single.

Uno de los parámetros principales de la simulación es la densidad de relleno, en este caso para obtener una pieza que sea comparable a las obtenidas mediante los otros procesos de fabricación se ha definido una densidad de relleno del 100%.

Simulación Ultimaker S5.

Partiendo de los parámetros recomendados para la impresión del nylon y de las características de esta impresora 3D se han determinado los parámetros del proceso, la altura de capa que es uno de los factores más influyentes se ha definido en 0.2 mm para obtener una calidad aceptable. Los parámetros por tanto son:

Calidad	
Altura de capa	0.2 mm
Altura de capa inicial	0.3 mm
Ancho de línea	0.8 mm

Tabla 16. Impresión 3D. Calidad Sujeción L.

Perímetro	
Grosor de la pared	2.4 mm
Recuento de líneas de pared	3
Distancia de pasada de la pared superior	0 mm
Grosor superior	2.4 mm
Capas superiores	3
Grosor inferior	2.4 mm
Capas inferiores	3
Patrón superior/inferior	Concéntrico
Patrón inferior de la capa inicial	Concéntrico
Optimizar el orden de impresión de las paredes	✓
Compensar superposiciones de pared	✓
Rellenar espacios entre paredes	En todas partes
Filtrar pequeños huecos	✓
Expansión horizontal	0 mm
Expansión horizontal de la capa inicial	0 mm
Habilitar alisado	✓
Patrón de alisado	Concéntrico
Velocidad de alisado	30 mm/s

Tabla 17. Impresión 3D. Perímetro Sujeción L.

Relleno	
Densidad de relleno	100 %
Patrón de relleno	Concéntrico

Tabla 18. Impresión 3D. Relleno Sujeción L.

Material	
Temperatura de impresión	245 °C
Temperatura de la placa de impresión	70 °C
Temperatura de la capa de impresión en la capa inicial	70 °C
Diámetro	2.85 mm
Flujo	100 %
Habilitar retracción	✓
Distancia de retracción	8 mm/s
Velocidad de retracción	45 mm/s

Tabla 19. Impresión 3D. Material Sujeción L.

Velocidad	
Velocidad de impresión	60 mm/s
Velocidad de relleno	75 mm/s
Velocidad de desplazamiento	150 mm/s
Velocidad de capa inicial	30 mm/s

Tabla 20. Impresión 3D. Velocidad Sujeción L.

Desplazamiento	
Salto en Z en la retracción	✓

Tabla 21. Impresión 3D. Desplazamiento Sujeción L.

Refrigeración	
Activar refrigeración de impresión	✓
Velocidad del ventilador	40 %

Tabla 22. Impresión 3D. Refrigeración Sujeción L.

Soporte	
Generar soporte	✓
Colocación del soporte	En todas partes
Ángulo de voladizo del soporte	70 °
Patrón del soporte	Zigzag
Densidad del soporte	15 %
Distancia en Z del soporte	0.4 mm
Distancia superior del soporte	0.4 mm
Distancia inferior del soporte	0.2 mm

Tabla 24. Impresión 3D. Soporte Sujeción L

Adherencia de la placa de impresión	
Activar gotas de cebado	✓
Tipo de adherencia de la placa de impresión	Borde
Longitud mínima de la falda/borde	250 mm
Ancho del borde	5 mm

Tabla 23. Impresión 3D. Adherencia Sujeción L.

Una vez realizada la simulación con estos parámetros obtenemos la pieza impresa. Para observar mejor las características de la pieza como las distintas capas o los soportes se pasa de Vista de sólidos a Vista de capas. La pieza obtenida se muestra en las siguientes ilustraciones.

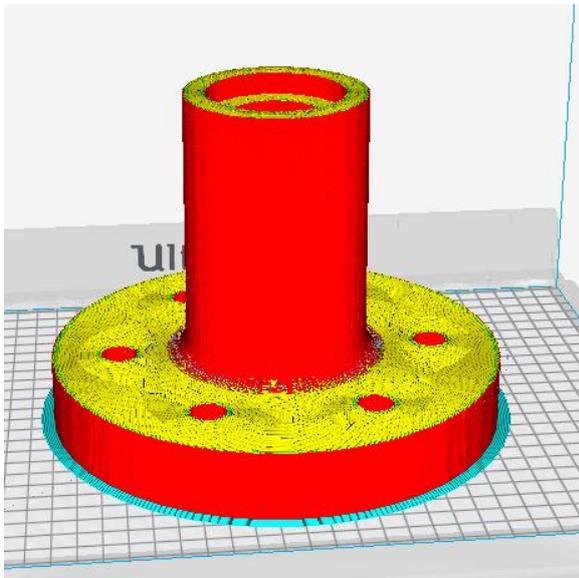


Ilustración 16. Impresión 3D Pieza Sujeción L. Fuente propia.

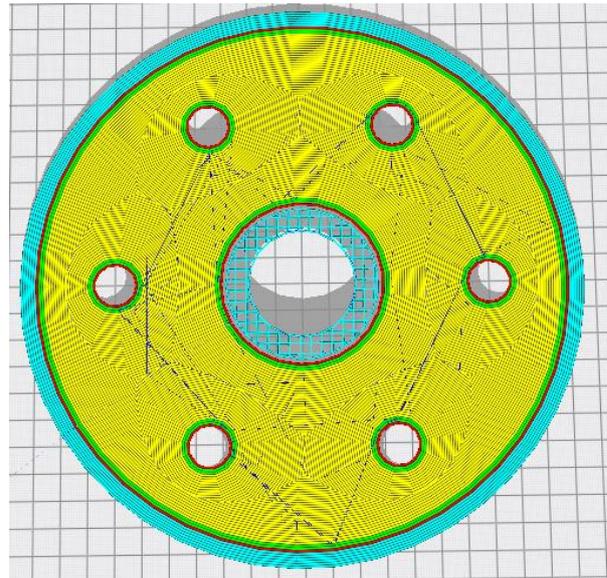


Ilustración 15. Impresión 3D. 1ª capa y soporte Sujeción L. Fuente propia.

Los datos obtenidos a partir de la simulación son el tiempo requerido, así como el material utilizado incluyendo en este peso el correspondiente a los soportes. A partir de estos datos y la potencia de la máquina se genera la Tabla 25. Impresión 3D. Resumen Ultimaker S5 Sujeción L.

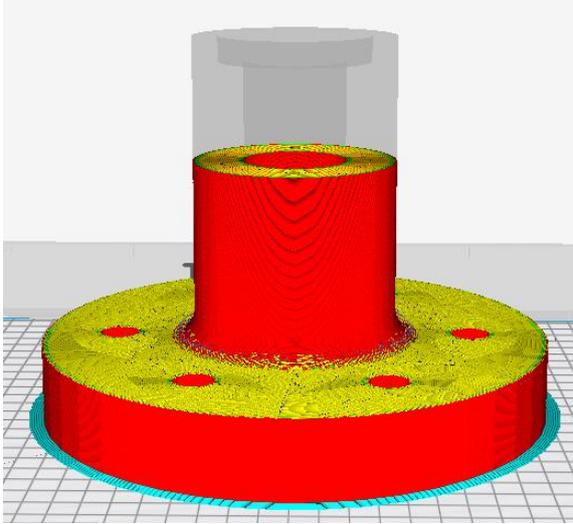


Ilustración 18. Impresión 3D. Ejemplo capa Sujeción L. Fuente propia.

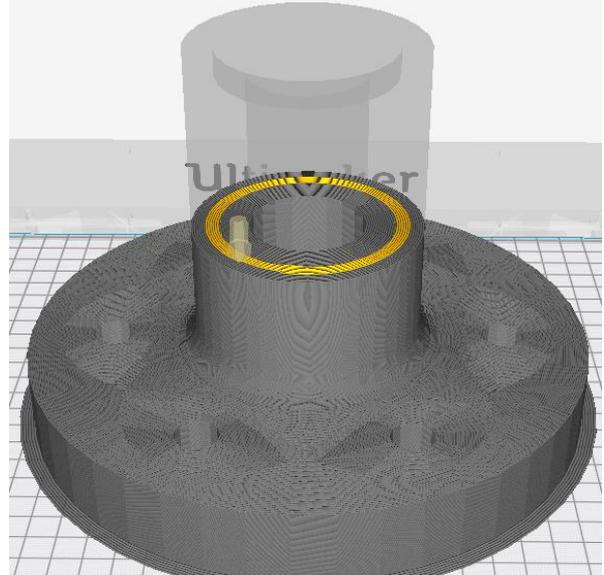


Ilustración 17. Impresión 3D. Ejemplo generación capa Sujeción L. Fuente propia.

Resumen de proceso.	
Tiempo requerido.	1 día 14 horas 56 minutos
Material utilizado.	1495 gramos
Material pieza.	1482 gramos
Desperdicio.	0,8696 %
Potencia impresora 3D.	500 W
Energía [kWh]	19,4667 kWh
Energía [MJ]	70,08 MJ

Tabla 25. Impresión 3D. Resumen Ultimaker S5 Sujeción L.

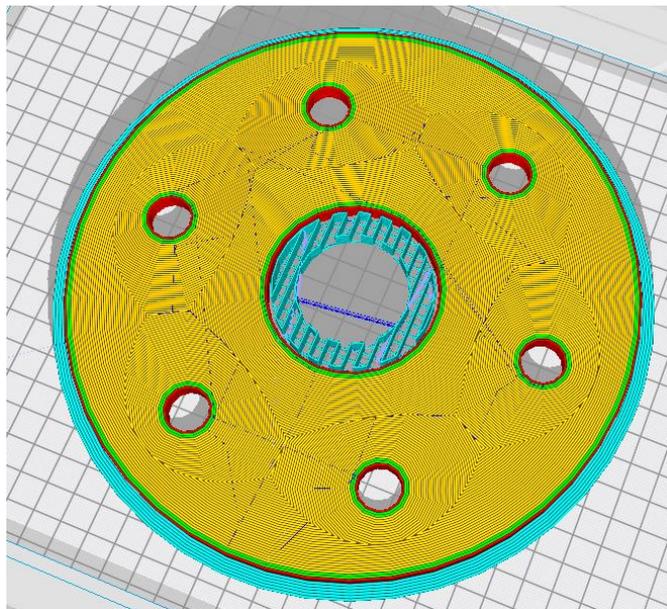


Ilustración 19. Impresión 3D. Vista patrón soporte Sujeción L. Fuente propia.

Simulación Raise 3D n2 plus single.

Para obtener unos ser comparados con los obtenidos por la simulación realizada con la impresora Ultimaker S5, los parámetros de impresión de esta simulación son los mismos que los del caso anterior. A partir de estos datos obtenemos los siguientes resultados en los que hay que tener en cuenta la nueva potencia de la impresora 3D.

Resumen de proceso.	
Tiempo requerido.	1 día 14 horas 39 minutos
Material utilizado.	1496 gramos
Material pieza.	1482 gramos
Desperdicio.	0,9358%
Potencia impresora 3D.	450 W
Energía [kWh]	17,3925 kWh
Energía [MJ]	62,613 MJ

Tabla 26. Impresión 3D. Resumen Raise 3D n2 plus single Sujeción L.

Resultados.

Con las dos simulaciones ya realizadas y obtenidos los datos de ambas, para conseguir unos mejores resultados se realiza una ponderación entre los de ambas simulaciones.

Resultados	
Tiempo requerido.	1 día 14 horas 47 minutos 30 segundos
Material utilizado.	1495,5 gramos
Material pieza.	1482 gramos
Desperdicio.	0,9027%
Energía [kWh]	18,43 kWh
Energía [MJ]	66,347 MJ

Tabla 27. Impresión 3D. Resultados Sujeción L.

También se ha comprobado mediante la búsqueda de otras posibles impresoras con las que realizar la operación, que la potencia tanto de la Ultimaker S5 como de la impresora Raise 3D n2 plus single se encuentran dentro de los parámetros de mercado dentro de un rango de impresoras profesionales con similar funcionalidad, sirviendo como ejemplo la impresora Flashforge Guider II que presenta una potencia de 500 W.

3.1.3. Inyección.

Para realizar la inyección de la pieza de nylon PA6 se escala la pieza teniendo en cuenta la contracción que sufre el material, con el fin de obtener finalmente una pieza con la misma geometría que mediante los otros procesos de fabricación.

A partir de los datos de la Tabla 5. Datos requeridos para determinar el tiempo de enfriamiento., se obtiene el tiempo de solidificación mínimo teórico basado en la difusividad térmica del material y en el espesor máximo de la pieza. Este tiempo es el que se va a tomar como referencia para obtener un tiempo de ciclo que se encuentre dentro de un rango aceptable. Este tiempo se calcula a partir de la fórmula propuesta por Ballman y Shusman (Sánchez, S; Yáñez, I; Rodríguez, O. Moldeo por inyección de termoplásticos. México: Limusa, 2001.

$$T_s = -\frac{S^2}{2\pi\theta} \ln \left[\frac{\pi T_x - T_m}{4(T_c - T_m)} \right] = 540,47 \text{ segundos}$$

Los distintos parámetros de la ecuación anterior son: T_s Tiempo mínimo de enfriamiento (s); S Espesor máximo de la pieza (mm); θ Difusividad térmica del material (cm^2s^{-1}); T_x Temperatura de extracción ($^{\circ}C$); T_m Temperatura del molde ($^{\circ}C$); T_c Temperatura de material fundido ($^{\circ}C$).

El primer paso es determinar el número de entradas de material o puntos de inyección. Este número, debido a la gran cantidad de material a inyectar, se ha definido en tres para facilitar el llenado de la cavidad del molde. Para detallar la mejor posición de los puntos de inyección, se realiza un análisis de la posición de entrada, obteniendo el indicador de resistencia de flujo.

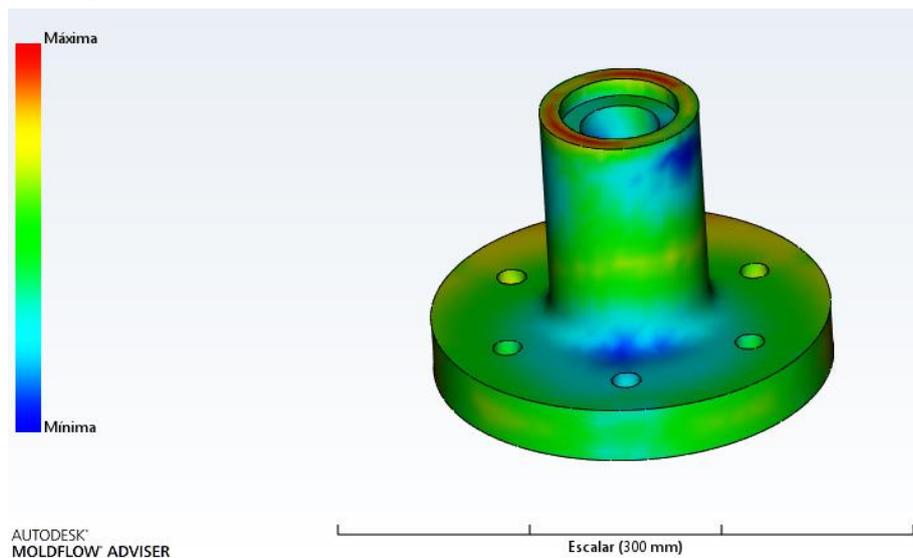


Ilustración 20. Indicador de resistencia de flujo. Sujeción L.

Con estos datos se diseña el sistema de alimentación mediante el Asistente para canales, definiendo también el tamaño del molde y el plano de partición (mostrado en la Ilustración 21. Molde inyección. Sujeción L.). Este diseño es realizado con el fin de que se obtenga la forma más simplificada posible, quedando definido como se observa en la Ilustración 22. Sistema de alimentación vista 2. Sujeción L. y en la Ilustración 23. Sistema de alimentación vista 1. Sujeción L.

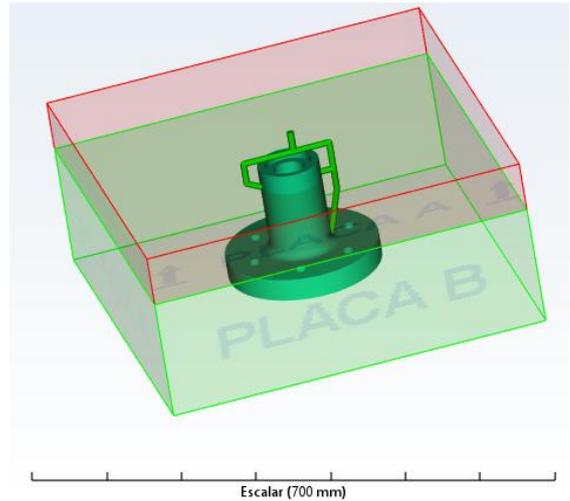


Ilustración 21. Molde inyección. Sujeción L. Fuente propia.

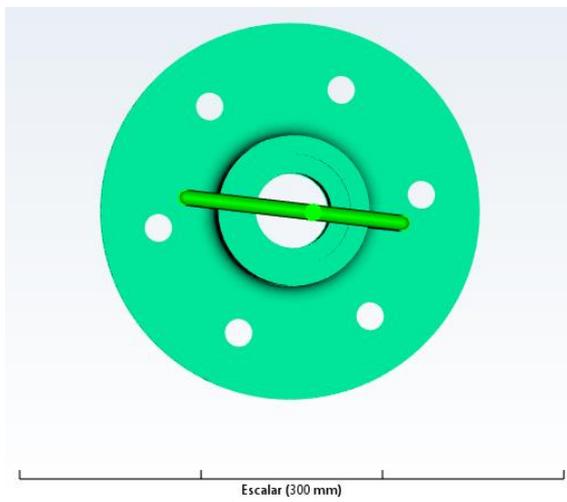


Ilustración 23. Sistema de alimentación vista 1. Sujeción L. Fuente propia.

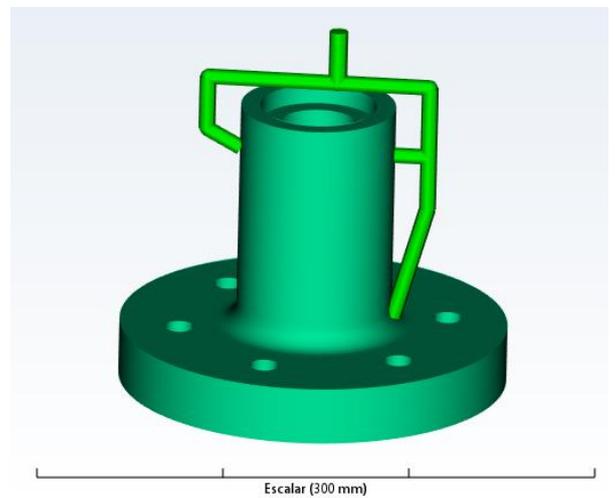


Ilustración 22. Sistema de alimentación vista 2. Sujeción L. Fuente propia.

El siguiente paso que se realiza es desarrollar el sistema de refrigeración mediante el Asistente de refrigeración.

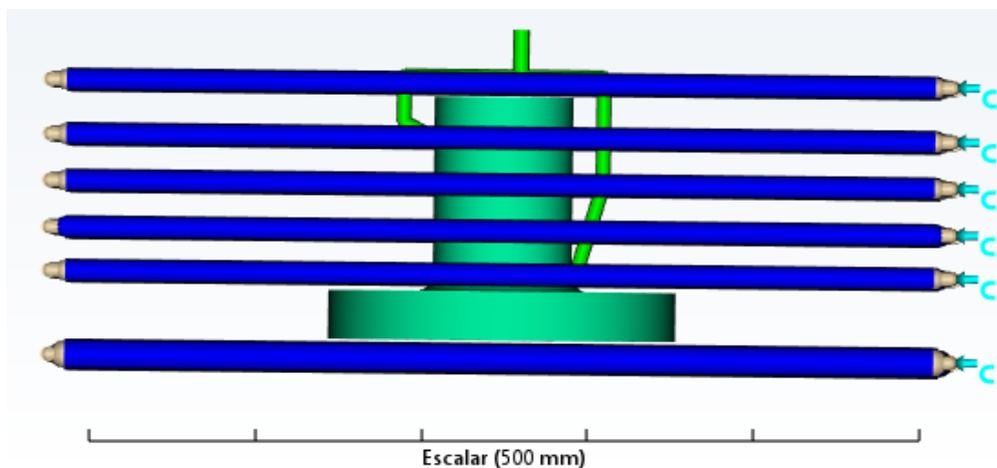


Ilustración 24. Sistema de refrigeración vista 1. Sujeción L. Fuente propia.

Después de realizar varias simulaciones con distintas configuraciones de canales de refrigeración, con el fin de obtener unos tiempos de refrigeración lo más cercanos posibles a los obtenidos mediante la fórmula propuesta por Ballman y Shusman, el diseño del sistema de refrigeración definitivo se muestra en la Ilustración 24, la Ilustración 25 y la Ilustración 26.

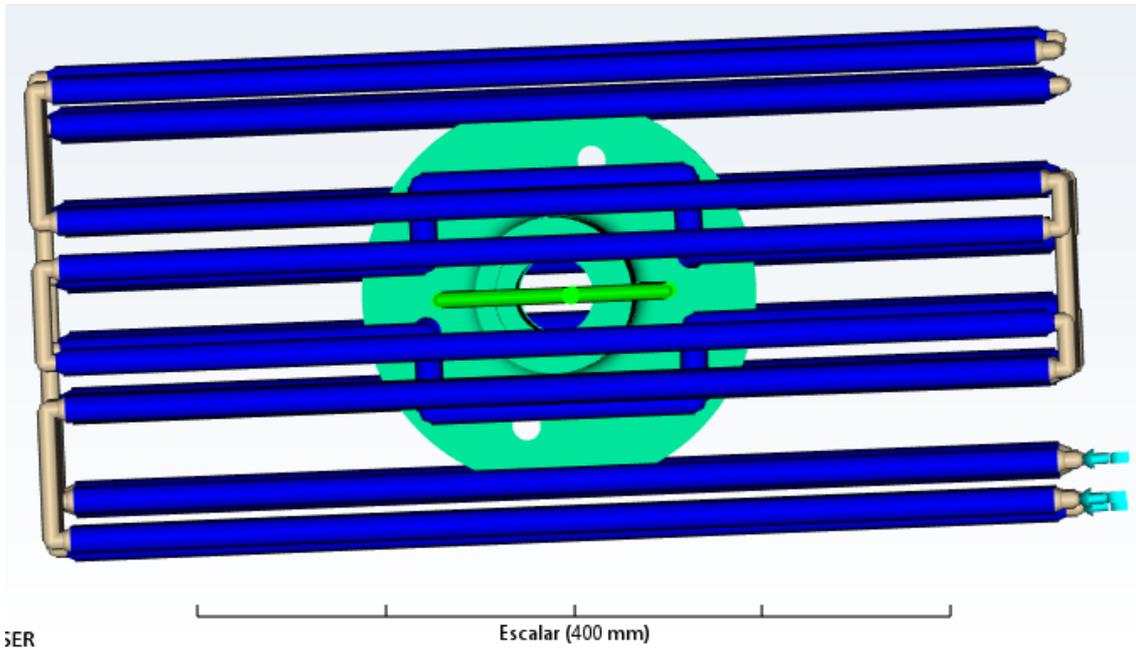


Ilustración 25. Sistema de refrigeración vista 2. Sujeción L. Fuente propia.

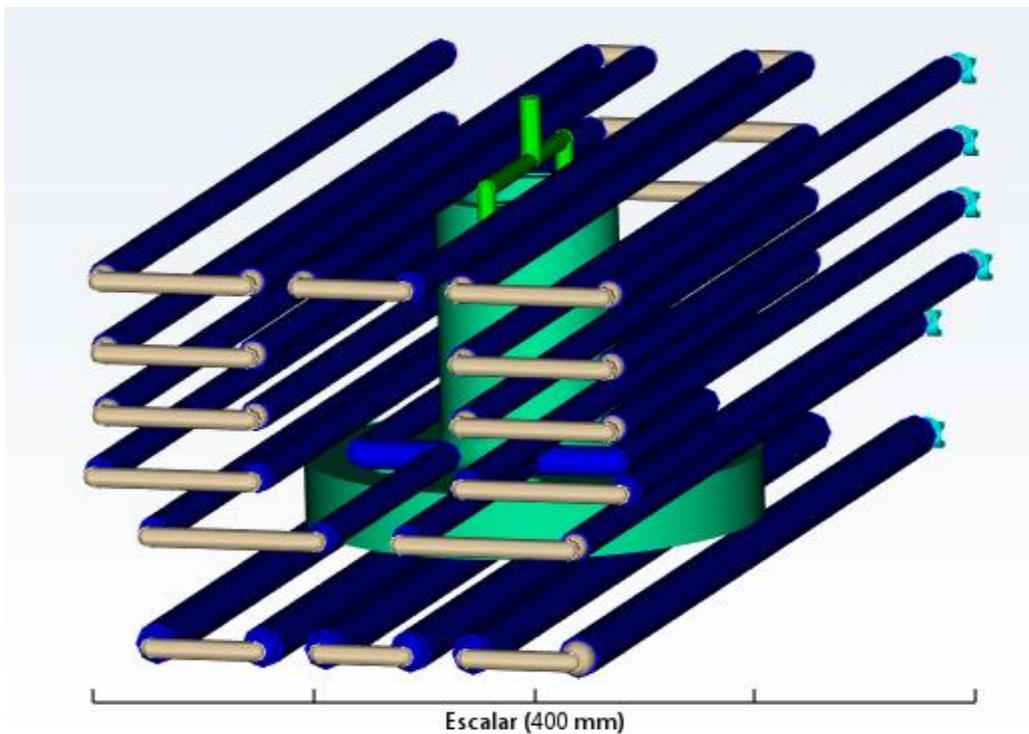


Ilustración 26. Sistema de refrigeración vista 3. Sujeción L. Fuente propia.

Una vez definidos tanto el sistema de alimentación como el sistema de refrigeración, se detallan los parámetros de la simulación. El tiempo en el que se encuentra el molde abierto para la extracción de la pieza una vez terminado el proceso, se define en 5 segundos. El tiempo de pospresión se establece en 45 segundos, este tiempo se ha obtenido mediante distintas simulaciones, aumentándolo hasta alcanzar el máximo de material inyectado posible y compensar contracciones y rechupes.

Por último, tal y como se habían definido en la Tabla 5, la temperatura de inyección del material fundido se establece en 250°C y la temperatura del molde en 80°C.

A partir de estos parámetros se obtienen los siguientes resultados:

Inyección Sujeción L	
Tiempo real de llenado	1.74 (seg)
Presión real de inyección	32.082 (MPa)
Área de fuerza de cierre	335.3889 (cm ²)
Fuerza de cierre máx.	2.464 (tonelada)
Peso total inyectado	1501.309 (g)
Peso Pieza	1482 (g)
Peso canales-bebederos	19.309 (g)
Desperdicio	1.286 %
Tiempo del ciclo	645.85 (seg)

Tabla 28. Resultados Moldflow inyección Sujeción L.

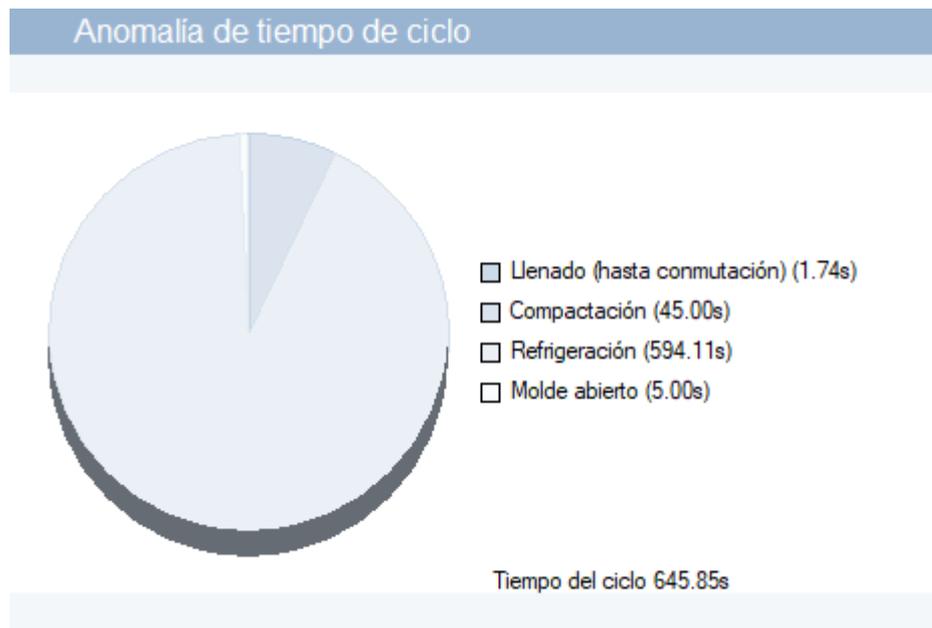


Ilustración 27. Desglose de tiempos inyección Sujeción L.

Energía consumida en la inyección.

Dentro del proceso de inyección, existen distintos consumos de energía ya que en cada fase participan elementos diferentes.

- **Calentamiento del material.**

La cantidad de calor que se requiere para cambiar la temperatura de un material se define a través de la siguiente ecuación (Fuente: Sánchez, S; Yáñez, I; Rodríguez, O. Moldeo por inyección de termoplásticos. México: Limusa, 2001.)(1):

$$q = m * \Delta h = m * (C_p * \Delta T)$$

En este caso la variación de temperatura son 225 °C, ya que se supone una temperatura ambiente de 25 °C y la temperatura de inyección se define en 250 °C. Por lo que el calor que hay que aplicar es:

$$q = 1.501309[Kg] * \left(3060 \left[\frac{J}{KgK} \right] * 225 \right) = 1033651 J = 0.287125 kWh$$

- **Refrigeración de pieza.**

Otra fase en la que se consume energía en el proceso de inyección, es la correspondiente al calor que hay que evacuar de la pieza para que alcance la temperatura de expulsión. Este cálculo se realiza a través de la siguiente fórmula (Fuente: Sánchez, S; Yáñez, I; Rodríguez, O. Moldeo por inyección de termoplásticos. México: Limusa, 2001.)(1):

$$q[W] = \frac{\text{Peso total inyección}[gramos] * \text{Calor a remover} \left[\frac{J}{g} \right]}{\text{Tiempo de ciclo [seg]}}$$

Con los datos de la pieza y del material nylon PA6, y multiplicando también por el tiempo del ciclo de refrigeración para mostrar el resultado en Julios, se obtiene:

$$q = 1501.309 * 520 = 780680.7 J = 0.216856 kWh$$

Otro consumo de energía dentro del proceso de refrigeración, se trata de la energía necesaria para impulsar el flujo de refrigerante a través del sistema de refrigeración. Para esto es necesario tener en cuenta las distintas presiones de inyección en los canales debido a que existen diferentes flujos de agua:

$$Pot. [W] = \left(\frac{(82.83 + 58.50) * 15}{60} + \frac{(24.02 + 23.95 + 23.90 + 35.54) * 10}{60} \right) * \frac{10^3}{997}$$

$$E_{flujo.ref.} = 53.39435 * 594.11 = 31722.117 J = 0.008117 kWh$$

- **Inyección de material, pospresión y fuerza de cierre.**

La energía consumida en el proceso de inyección se calcula a partir del tiempo de inyección, de la cantidad de material inyectado y de la presión de inyección realizada.

$$Potencia [W] = Presión [Pa] * Caudal \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

El caudal se obtiene usando la densidad de la masa fundida:

$$Caudal \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{Peso\ inyectado [Kg]}{Tiempo\ inyección [s] * Densidad\ mat.\ fundido \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}$$

$$Caudal \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{1.501309}{1.74 * 0.96913 * 10^3} = 0.8903 * 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Por lo tanto el consumo de energía en esta fase del proceso es:

$$Energía = (32.082 * 10^3 * 0.8903) * 1.74 = 49698.932 [J] = 0.0138 kWh$$

A la hora de obtener la energía consumida en la pospresión, se calcula a partir de la potencia obtenida en el proceso de inyección, considerando que la presión de sostenimiento se define como el 80% de la presión de inyección dentro de la simulación realizada mediante Moldflow.

$$Pot_{pospresión} [W] = Pot_{inyección} * 0.8$$

$$E_{pospresión} = (25.145 * 10^3 * 0.8903) * 45 = 1007396.708 [J] = 0.279832 kWh$$

La fuerza de cierre que es aplicada sobre el molde tiene como fin contrarrestar la presión de inyección del material, así como la presión de sostenimiento. Debido a este hecho, se establece la energía consumida por esta acción como un 10% mayor a la realizada en ese proceso de inyección, ya que según el tipo de máquina y el peso y características del molde puede variar.

$$E_{cierre} = (0.0138 + 0.279832) * 1.1 = 0.322995 kWh$$

- **Resultados de Inyección.**

A partir de los cálculos realizados, se aplica un rendimiento del 65%, quedando situado en el rango inferior de entre el 60% y el 70%, con el fin de incluir cálculos que no se han podido obtener como la energía consumida debido a la apertura del molde ya que esta varía según el tamaño del molde y las características de la propia máquina inyectora (el rendimiento del proceso de inyección se sitúa normalmente entre el 60% y el 80%, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>)(6), con lo que los resultados finales son:

Parámetros	Inyección
Peso en bruto [Kg]	1.501309
Peso pieza [Kg]	1.482
Desperdicio [%]	1.286
Tiempo de ciclo [seg]	645.85
Energía neta [kWh]	1.1294
Energía neta [MJ]	4.0659
Consumo total [MJ]	6.2553

Tabla 29. Resultados Inyección Sujeción L.

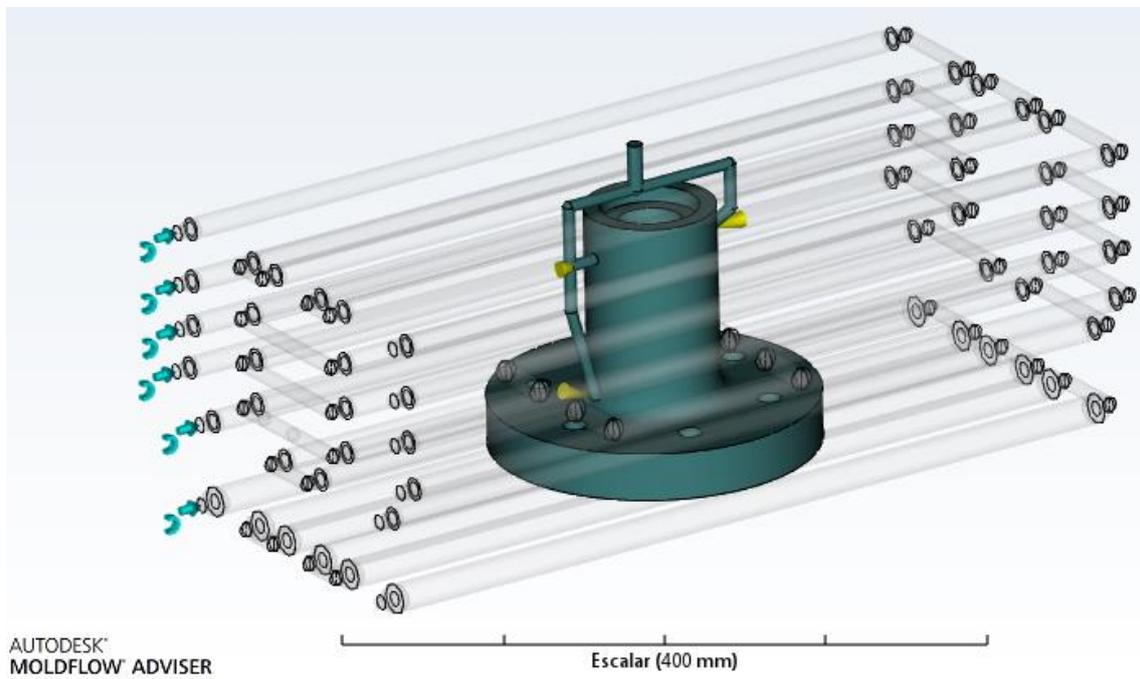


Ilustración 28. Pieza Sujeción L terminada. Fuente propia.

3.2. Pieza Sujeción Cónica.

3.2.1. Mecanizado.

La pieza de partida se trata de una barra maciza de nylon PA 6 con unas dimensiones de 200 mm de diámetro y 64 mm de largo. El proceso de mecanizado de la pieza denominada como *Sujeción Cónica* es el especificado en la hoja de procesos definida en el Anexo III: Hojas de procesos., en la que queda definido el orden de las distintas operaciones que se van a caracterizar de forma teórica y a simularse a su vez mediante el programa NX 9.0:

- **Operación 1: refrentado cara superior, superficie 1.**

Profundidad corte	Velocidad de husillo	Avance
2 mm	900 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 30. Parámetros Op. 1 Cónica.

Calculando los tiempos de actuación de forma teórica a partir de los parámetros anteriores se obtiene:

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = \pi * \frac{r_f^2 - r_i^2}{1000 * f * v_c} = 13.33 \text{ seg}$$

Tomando este tiempo como base de partida, el tiempo obtenido a partir de la simulación que tiene en cuenta el tiempo de movimiento en vacío de la herramienta de corte es:

$$t_{op1} = 15 \text{ segundos}$$

- **Operación 2: desbaste superficie 2.**

Profundidad corte	Velocidad de husillo	Avance	n ° pasadas
5 mm	1000 rpm	0.5 mm/rev	14

Tabla 31. Parámetros Op. 2 Cónica.

El tiempo de actuación de forma teórica de la operación de desbaste, teniendo en cuenta que en este caso la longitud de mecanizado es

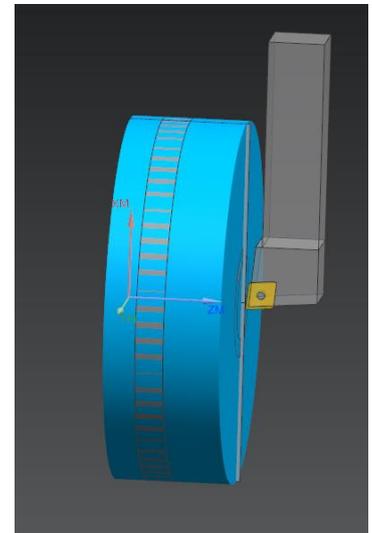


Ilustración 29. Op. 1 Sujeción Cónica
Fuente propia

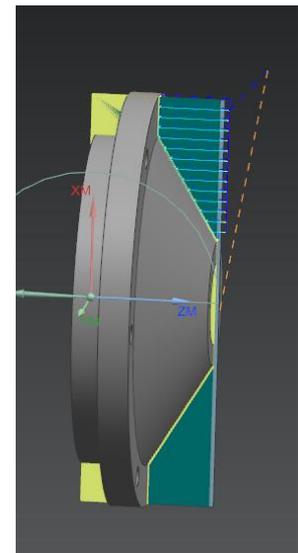


Ilustración 30. Op. 2 Sujeción Cónica
Fuente propia

constante en las cuatro primeras pasadas pero en las posteriores se va reduciendo, es:

$$t_{act} = \sum t_{pas} = 33.6 \text{ seg}$$

El tiempo obtenido mediante la simulación con NX teniendo en cuenta el tiempo de posicionamiento de la herramienta entre las distintas pasadas es:

$$t_{op2} = 50 \text{ segundos}$$

- **Operación 3: Acabado superficie 2.**

La siguiente operación del proceso de mecanizado en el acabado de la superficie 2 tras realizar el desbaste de esta.

Velocidad de husillo	Avance
1000 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 32. Parámetros Op. 3 Cónica.

El tiempo obtenido para la operación de acabado mediante la simulación es:

$$t_{op3} = 11 \text{ segundos}$$

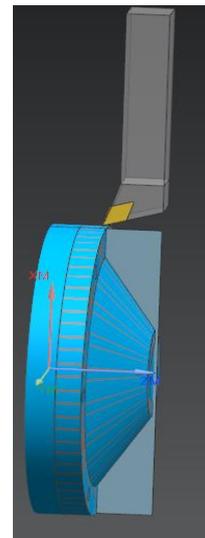


Ilustración 31. Op. 3 Sujeción Cónica Fuente propia

- **Operación 4: Taladrado superficies 7.**

Mediante el uso de una broca de 10 mm de diámetro con los siguientes parámetros de corte:

Long. Mecanizado	Vel. de husillo	Avance
15 mm	1900 rpm	0.25 mm/rev

Tabla 33. Parámetros Op. 4 Cónica.

El tiempo obtenido para la operación de forma teórica es:

$$t_{act} = 6 * 1.895 = 11.368 \text{ seg}$$

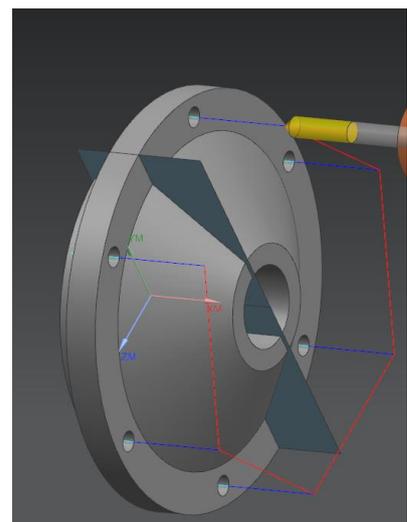


Ilustración 32. Op. 4 Sujeción Cónica Fuente propia

El tiempo a partir de la simulación incluyendo el tiempo de movimiento en vacío e indicando que la herramienta realice los distintos taladros según la proximidad entre estos es:

$$t_{op6} = 25 \text{ segundos}$$

- **Operación 5: Taladrado superficie 4.**

El taladrado de la superficie 4 se realiza mediante una broca de 40 mm de diámetro, quedando el valor de los parámetros de velocidad del husillo y avance definido como:

Velocidad de husillo	Avance
800 rpm	0.25 mm/rev

Tabla 34. Parámetros Op. 6 Cónica.

El cálculo teórico del tiempo de actuación a partir de estos datos siendo tomando la longitud de mecanizado como 62 mm, obtenemos el tiempo de operación. Este tiempo no tiene en cuenta el necesario para que la herramienta de corte se posicione en su lugar al comienzo de la operación, y vuelva a su posición inicial una vez termine de arrancar material, por lo que el tiempo de operación real es el que queda definido mediante la simulación de la operación.

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = 18.6 \text{ segundos}$$

$$t_{op5} = 28 \text{ segundos}$$

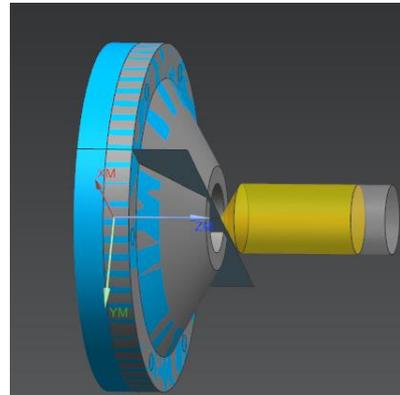


Ilustración 33. Op. 6 Sujeción Cónica
Fuente propia

- **Operación 6: refrentado cara inferior, superficie 3.**

Profundidad corte	Velocidad de husillo	Avance
2 mm	900 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 35. Parámetros Op. 7 Cónica.

Para realizar las operaciones en la cara posterior se vuelve a posicionar la pieza y se calculan los tiempos de actuación de forma teórica a partir de los parámetros anteriores. En este caso al encontrarse el diámetro interior de la pieza ya eliminado por el taladrado realizado previamente la longitud de mecanizado varía con respecto al refrentado realizado en la operación 1.

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = \pi * \frac{r_f^2 - r_i^2}{1000 * f * v_c} = 10.66 \text{ seg}$$

El tiempo obtenido a partir de la simulación que tiene en cuenta todos los movimientos de la herramienta de corte es:

$$t_{op7} = 15 \text{ segundos}$$

- **Operación 7: Acabado de superficie 5.**

Se realizan 4 pasadas de 5 mm de profundidad de corte cada una con los siguientes parámetros de operación:

Long. Mecanizado	Velocidad de husillo	Avance
15 mm	1000 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 36. Parámetros Op. 8 Cónica.

Por tanto, el tiempo teórico de actuación de la herramienta es de 7.2 segundos, siendo el tiempo obtenido con la simulación de 12 segundos:

$$t_{act} = 4 * t_{pas} = 4 * \frac{L_{mec}}{f * n} = 7.2 \text{ segundos}$$

$$t_{op8} = 12 \text{ segundos}$$

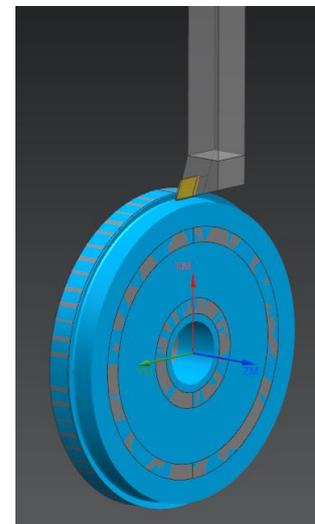


Ilustración 34. Op. 8 Sujeción Cónica Fuente propia

- **Operación 8: Acabado de superficie 6.**

Se rebaja la geometría resultante del taladrado realizado en la operación 5 mediante un mandrinado de 5 mm de profundidad de pasada, con los siguientes parámetros de operación:

Long. Mecanizado	Vel. de husillo	Avance
40 mm	1600 rpm	0.5 mm/rev

Tabla 37. Parámetros Op. 9 Cónica.

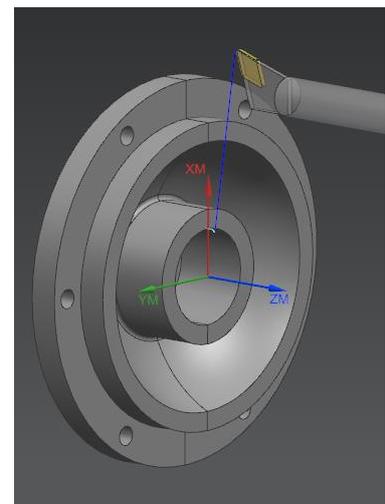


Ilustración 35. Op. 9 Sujeción Cónica Fuente propia

El tiempo de actuación obtenido de forma teórica es:

$$t_{act} = \frac{L_{mec}}{f * n} = 3 \text{ segundos}$$

El tiempo total obtenido a partir de la simulación de la operación es:

$$t_{op8} = 1 \text{ segundos}$$

- **Operación 9: Acabado de superficie 8.**

Para realizar el mecanizado de esta superficie, se reposiciona la pieza y se realiza mediante varios fresados consecutivos hasta conseguir la geometría final deseada.

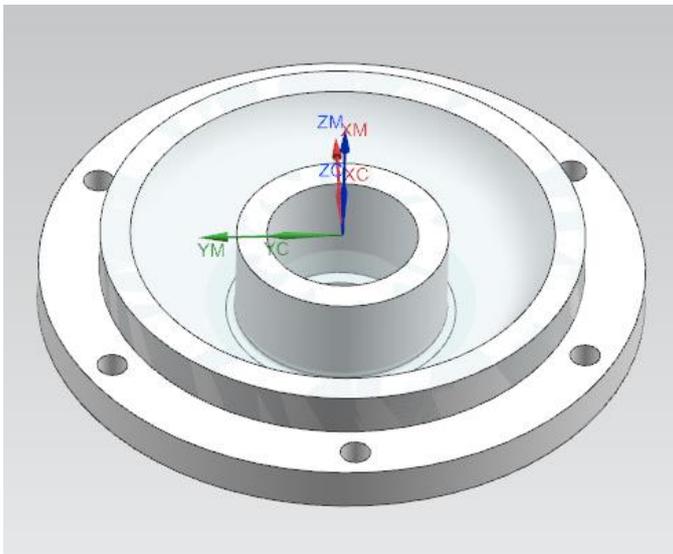


Ilustración 37. Vista inferior. Sujeción Cónica Fuente propia

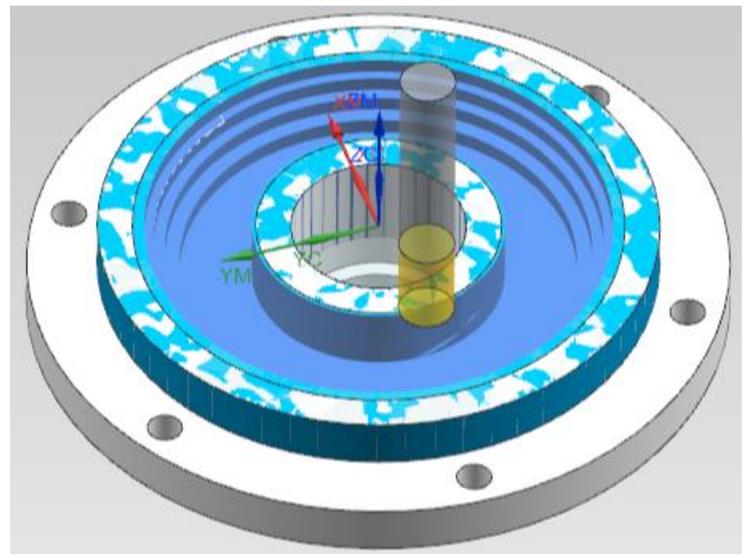


Ilustración 36. Fresado de desbaste Sujeción Cónica.

La selección de las herramientas que se van a utilizar se realiza de acuerdo a los parámetros y especificaciones del catálogo de herramientas FRAISA SA (High-performance milling tools. www.fraisa.com)(58).El proceso se divide en cuatro operaciones para conseguir una calidad y geometría óptima, siendo estas:

- Desbaste: se realiza mediante la herramienta C5273.610 cuya velocidad de avance queda establecida en $v_f = 2576.31 \frac{mm}{min}$ y la velocidad de corte en $v_c = 350 \frac{m}{min}$. El resultado del tiempo de simulación es:

$$t_{op} = 2 \text{ min } 1 \text{ seg} = 121 \text{ seg}$$

- Semi acabado 1: la fresa cilíndrica utilizada es la C5271.450. La velocidad de corte es $v_c = 900 \frac{m}{min}$ y la velocidad de avance $v_f = 7162 \frac{mm}{min}$. El tiempo obtenido es:

$$t_{op} = 1 \text{ min } 45 \text{ seg} = 105 \text{ seg}$$

- Semi acabado 2: se realiza una segunda pasada de semi acabado con la fresa cilíndrica C5290.300. La velocidad de avance $v_f = 5729.520 \frac{mm}{min}$, siendo la velocidad de corte es $v_c = 900 \frac{m}{min}$. El tiempo de operación es:

$$t_{op} = 4 \text{ min } 15 \text{ seg} = 255 \text{ seg}$$

- Acabado: la herramienta usada para esta operación es la fresa cilíndrica C5290.180, siendo las velocidades de corte y de avance las mismas que para la operación de semi acabado 2, $v_f = 5729.520 \frac{mm}{min}$ y $v_c = 900 \frac{m}{min}$. El tiempo de operación resultante es:

$$t_{op} = 3 \text{ min } 41 \text{ seg} = 221 \text{ seg}$$

Desbaste	2 min 1 seg	C 5273.610	$v_c = 350 \frac{m}{min}$	$a_p = 24 \text{ mm}$	$v_f = 2576.31 \frac{mm}{min}$
	121 seg	D 16mm	$f_z = 0.185 \text{ mm}$	$a_e = 8 \text{ mm}$	
Semi acabado 1	1 min 45 seg	C 5271.450	$v_c = 900 \frac{m}{min}$	$a_p = 15 \text{ mm}$	$v_f = 7162 \frac{mm}{min}$
	105 seg	D 10mm	$f_z = 0.125 \text{ mm}$	$a_e = 5 \text{ mm}$	
Semi acabado 1	4 min 15 seg	C 5290.300	$v_c = 900 \frac{m}{min}$	$a_p = 0.60 \text{ mm}$	$v_f = 5729.520 \frac{mm}{min}$
	255 seg	D 6mm	$f_z = 0.090 \text{ mm}$	$a_e = 1.20 \text{ mm}$	
Acabado	3 min 41 seg	C 5290.180	$v_c = 900 \frac{m}{min}$	$a_p = 0.30 \text{ mm}$	$v_f = 5729.520 \frac{mm}{min}$
	221 seg	D 3mm	$f_z = 0.060 \text{ mm}$	$a_e = 0.60 \text{ mm}$	

Tabla 38. Resumen fresado Sujeción Cónica.

Energía consumida en el mecanizado.

Obtenidos los tiempos de las distintas operaciones, se calcula las potencias de cada una de ellas. A partir del tiempo y la potencia se calcula la energía consumida.

La potencia se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$P_c = K_s * Q$$

La fuerza específica de corte, constante K_s , se establece en $K_s = 400 \text{ N/mm}^2$ tal y como se detalla en el punto 3.1.1 Mecanizado. Desarrollando la fórmula de potencia anterior se obtienen tanto la que se va a usar en el cálculo para las potencias de las operaciones de torneado como la utilizada para las distintas fases de la operación de fresado.

Una vez obtenido el tiempo de mecanizado para cada operación se obtiene la potencia de cada una de ellas, y a partir de ambos datos se consigue el valor de la energía consumida por el proceso de mecanizado como suma de la consumida en cada operación.

$$P_c = K_s * Q = K_s * (v_c * A_c) = K_s * (f * a_p * v_c) [W]$$

$$P_c = K_s * v_f * a_p * a_e [W]$$

Obtenidas las potencias, se multiplican por los tiempos de operación. Los resultados de la energía consumida se muestran tanto en *kWh* como en *MJ* para lo que es necesario realizar las siguientes operaciones:

$$Energia [kWh] = \frac{Potencia [W]}{1000} * \frac{Tiempo [seg]}{3600}$$

$$Energia [MJ] = Energia [kWh] * \frac{1 \text{ MW}}{1000 \text{ kW}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hora}}$$

El rendimiento aplicado al proceso es del 75% , ya que como se ha podido observar, el rendimiento en el mecanizado se sitúa en el entorno del 70-85% (Delgado Urrecho, J. Modelado y simulación del funcionamiento de la fresadora tipo A-16 de Nicolás Correa S.A. con Catia (2016). Trabajo de fin de grado. Valladolid, Escuela de Ingeniería Mecánica.) (3), situándolo de esta forma en un valor intermedio.

Operaciones		Potencia. [W]	Tiempo de operación. [seg]	Energía consumida. [kWh]	Energía consumida. [MJ]
1. Refrentado superficie .1		3769,9104	15	0,01570796	0,056548656
2. Desbaste superficie 2. ⁵		7730,780314	50	0,107371949	0,386539016
3. Acabado superficie 2. ⁶		7730,780314	11	0,023621829	0,085038583
4. Taladro superficies 7.		497,4187333	25	0,003454297	0,012435468
5. Taladrado superficie 4.		3351,031467	28	0,026063578	0,093828881
6. Refrentado superficie 3.		3769,9104	15	0,01570796	0,056548656
7. Acabado superficie 5. ⁷		9162,976667	12	0,030543256	0,10995572
8. Acabado superficie 6.		4188,789333	1	0,001163553	0,004188789
9. Acabado superficie 8.	Desbaste	3297,67	121	0,110838353	0,39901807
	Semiacabado 1	3581	105	0,104445833	0,376005
	Semiacabado 2	27,5	255	0,001947917	0,0070125
	Acabado	6,875	221	0,000422049	0,001519375
Suma total:			859	0,441288532	1,588638715
Rendimiento 75 %				0,588384709	2,118184953

Tabla 39. Consumo mecanizado Sujeción Cónica.

Con los resultados de energía consumida se realiza la Tabla 40 como resumen del proceso de fabricación de la Sujeción Cónica mediante el mecanizado.

Parámetros	Mecanizado
Peso en bruto [Kg]	2.292
Peso pieza [Kg]	0.835
Desperdicio [%]	63.5689
Tiempo requerido [seg]	839
Energía [kWh]	0.441288532
Energía [MJ]	1.588638713
Consumo total [MJ]	2.118184953

Tabla 40. Resumen mecanizado Sujeción Cónica.

⁵ Para obtener la potencia de la operación, se obtiene la potencia de cada pasada y se multiplica por el tiempo de actuación de la pasada, los resultados obtenidos se suman y se dividen por el tiempo total de operación para obtener una potencia media que sea más exacta.

⁶ Para la potencia de la operación 3, se ha tomado el valor de la necesaria en la operación 2 ya que mantiene los mismos parámetros de velocidad y avance.

⁷ Mismo procedimiento que en la nota 5.

3.2.2. Impresión 3D, FDM.

Para la impresión 3D de la Sujeción Cónica, al ser el material también el nylon PA6 como en el caso de la impresión 3D de la Sujeción L, se siguen manteniendo los mismos parámetros de impresión que los definidos en el apartado 3.1.2.

Ajustes de impresión.	Nylon
Temperatura de impresión predeterminada.	245 °C
Temperatura predeterminada de la placa de impresión.	70 °C
Distancia de retracción.	8.00 mm
Velocidad de retracción.	45 mm/s
Temperatura en modo de espera.	175 °C
Velocidad del ventilador.	40 %

Tabla 41. Ajustes impresión. Nylon. Sujeción Cónica.

Como se ha comentado anteriormente, el volumen del elemento es otro factor clave a la hora de poder fabricar la pieza en una u otra impresora.

En este caso, a pesar de que el volumen de la pieza Sujeción Cónica es inferior de una forma clara al de la pieza Sujeción L, al tener ambas el mismo diámetro en su base, hace que las posibles impresoras con las que se realice su fabricación sean las mismas. Aun presentando una altura inferior, el volumen que son capaces de fabricar las distintas impresoras se encuentra delimitado por un hexaedro en la mayoría de los casos (en otros casos la geometría limitante se trata de un cilindro), dicho cubo suele tender a ser de dimensiones similares en los dos ejes de la base e incrementarse ligeramente en el eje Z.

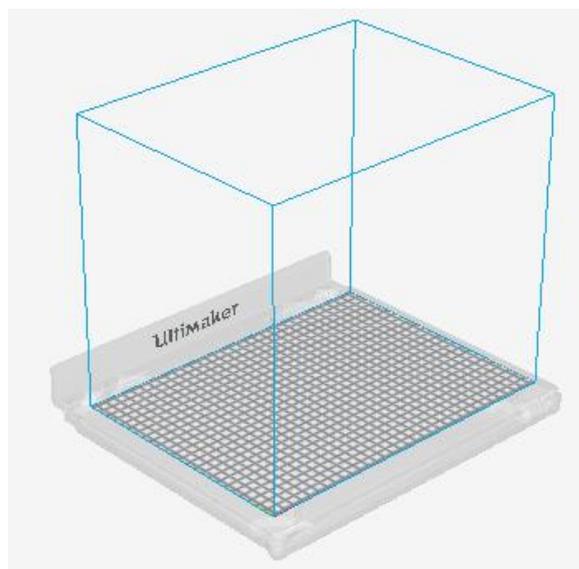


Ilustración 38. Ejemplo volumen limitante Impresión 3D.
Fuente propia.

Por esta razón, a pesar de tener la Sujeción menos volumen que la Sujeción L, las impresoras son las mismas para ambos casos:

- Ultimaker S5.
- Raise 3D n2 plus single.

Simulación Ultimaker S5.

Los parámetros de impresión se definen a partir de los recomendados para el nylon PA6, destacando de entre ellos una altura de capa de 0.2 mm y un relleno del 100 % para obtener una calidad aceptable y que sea de las mismas características a la pieza obtenida mediante los otros dos medios de fabricación. Los parámetros son:

Calidad	
Altura de capa	0.2 mm
Altura de capa inicial	0.3 mm
Ancho de línea	0.8 mm

Tabla 42. Impresión 3D. Calidad Sujeción Cónica.

Perímetro	
Grosor de la pared	2.4 mm
Recuento de líneas de pared	3
Distancia de pasada de la pared superior	0 mm
Grosor superior	2.4 mm
Capas superiores	3
Grosor inferior	2.4 mm
Capas inferiores	3
Patrón superior/inferior	Concéntrico
Patrón inferior de la capa inicial	Concéntrico
Optimizar el orden de impresión de las paredes	✓
Compensar superposiciones de pared	✓
Rellenar espacios entre paredes	En todas partes
Filtrar pequeños huecos	✓
Expansión horizontal	0 mm
Expansión horizontal de la capa inicial	0 mm
Habilitar alisado	✓
Patrón de alisado	Concéntrico
Velocidad de alisado	30 mm/s

Tabla 43. Impresión 3D. Perímetro Sujeción Cónica.

Relleno	
Densidad de relleno	100 %
Patrón de relleno	Concéntrico

Tabla 44. Impresión 3D. Relleno Sujeción Cónica.

Material	
Temperatura de impresión	245 °C
Temperatura de la placa de impresión	70 °C
Temperatura de la capa de impresión en la capa inicial	70 °C
Diámetro	2.85 mm
Flujo	100 %
Habilitar retracción	✓
Distancia de retracción	8 mm/s
Velocidad de retracción	45 mm/s

Tabla 45. Impresión 3D. Material Sujeción Cónica.

Velocidad	
Velocidad de impresión	60 mm/s
Velocidad de relleno	75 mm/s
Velocidad de desplazamiento	150 mm/s
Velocidad de capa inicial	30 mm/s

Tabla 46. Impresión 3D. Velocidad Sujeción Cónica.

Desplazamiento	
Salto en Z en la retracción	✓

Tabla 47. Impresión 3D. Desplazamiento Sujeción Cónica.

Refrigeración	
Activar refrigeración de impresión	✓
Velocidad del ventilador	40 %

Tabla 48. Impresión 3D. Refrigeración Sujeción Cónica.

Adherencia de la placa de impresión	
Activar gotas de cebado	✓
Tipo de adherencia de la placa de impresión	Borde
Longitud mínima de la falda/borde	250 mm
Ancho del borde	5 mm

Tabla 50. Impresión 3D. Adherencia Sujeción Cónica.

Soporte	
Generar soporte	✓
Colocación del soporte	En todas partes
Ángulo de voladizo del soporte	70 °
Patrón del soporte	Zigzag
Densidad del soporte	15 %
Distancia en Z del soporte	0.4 mm
Distancia superior del soporte	0.4 mm
Distancia inferior del soporte	0.2 mm

Tabla 49. Impresión 3D. Soporte Sujeción Cónica.

A partir de la simulación se observa la pieza ya impresa. Al seleccionar dentro del programa la Vista de capas se aprecian de forma más nítida las distintas estructuras tanto de los soportes como del proceso seguido.

Resumen de proceso.	
Tiempo requerido.	1 día 1 horas 40 minutos
Material utilizado.	886 gramos
Material pieza.	835 gramos
Desperdicio.	5,7562 %
Potencia impresora 3D.	500 W
Energía [kWh]	12,8333 kWh
Energía [MJ]	46,2 MJ

Tabla 51. Impresión 3D Ultimaker S5 Sujeción Cónica.

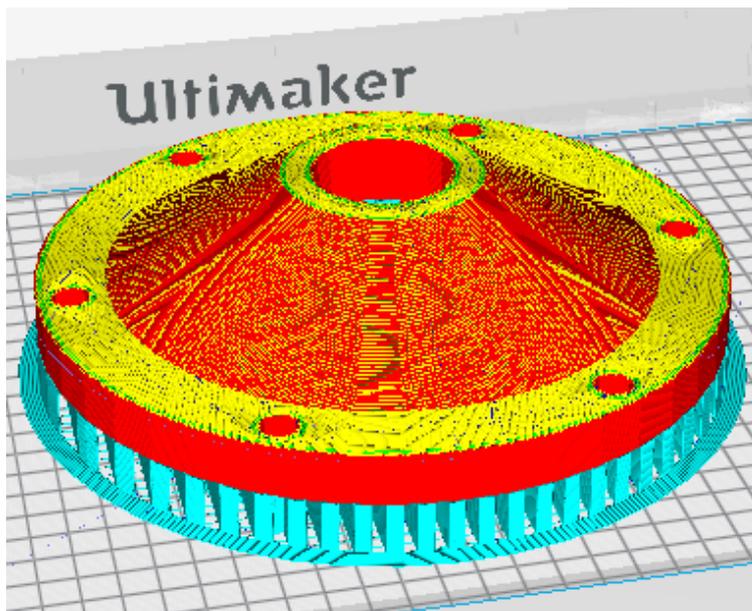


Ilustración 39. Impresión 3D Sujeción Cónica. Fuente propia.

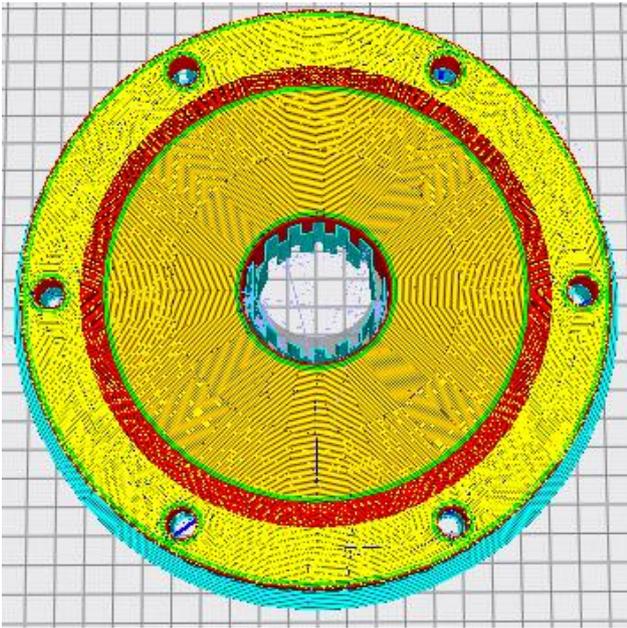


Ilustración 41. Impresión 3D. Ejemplo capa Sujeción Cónica. Fuente propia.

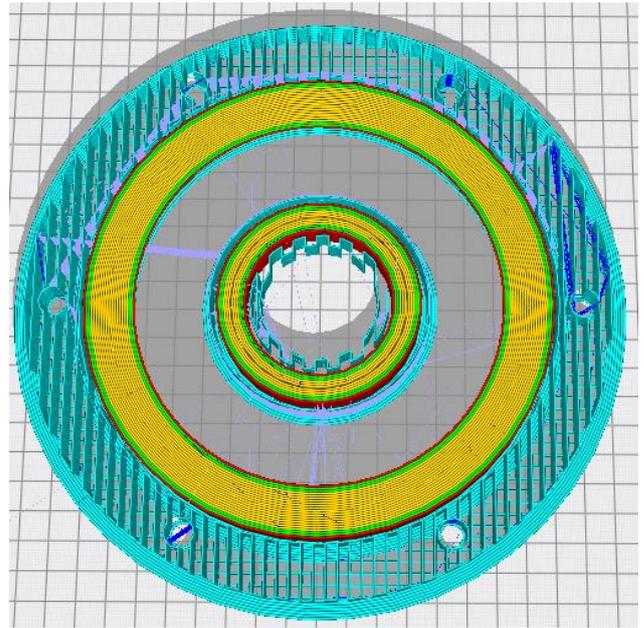


Ilustración 40. Impresión 3D. Estructura soporte Sujeción Cónica. Fuente propia.

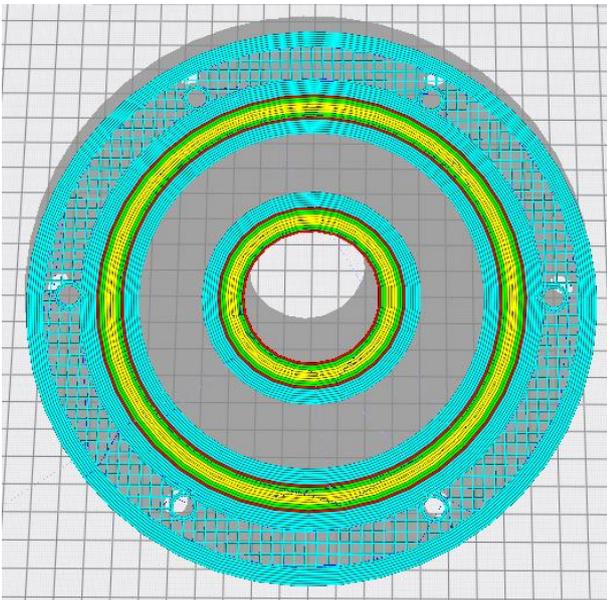


Ilustración 42. Impresión 3D 1ª capa Sujeción Cónica. Fuente propia.

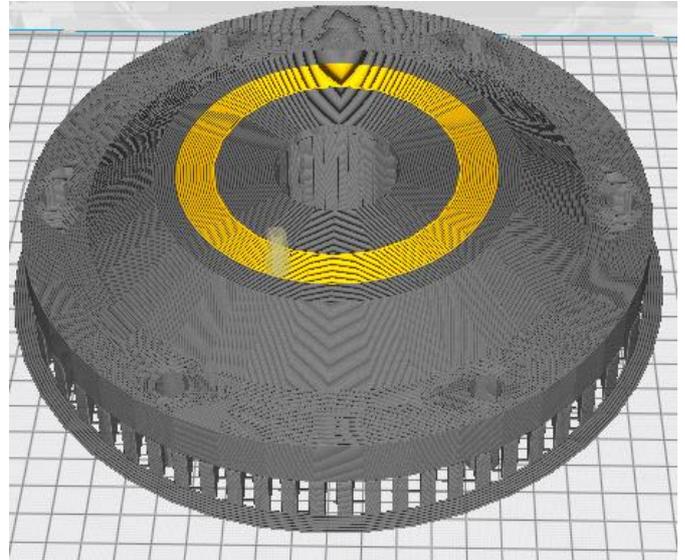


Ilustración 43. Impresión 3D. Ejemplo generación capa Sujeción Cónica. Fuente propia.

Simulación Raise 3D n2 plus single.

Se realiza también una segunda simulación con la impresora Raise 3D n2 plus single, para obtener unos que sean equiparables con los obtenidos a partir de la simulación con la impresora Ultimaker S5, los parámetros de impresión se definen con los mismos valores especificados anteriormente.

Los resultados obtenidos de esta simulación son:

Resumen de proceso.	
Tiempo requerido.	1 día 0 horas 42 minutos
Material utilizado.	894 gramos
Material pieza.	835 gramos
Desperdicio.	6.5995 %
Potencia impresora 3D.	450 W
Energía [kWh]	11,115 kWh
Energía [MJ]	40,014 MJ

Tabla 52. Impresión 3D. Resumen Raise 3D n2 plus single Sujeción Cónica.

Resultados.

Realizadas las dos simulaciones y a partir de los datos obtenidos por ambas, se realiza una media entre las dos con el fin de conseguir unos datos más representativos dentro de la gama de impresoras 3D FDM profesionales. Los resultados definitivos para la fabricación de la Sujeción Cónica son:

Resultados	
Tiempo requerido.	1 día 1 horas 11 minutos
Material utilizado.	890 gramos
Material pieza.	835 gramos
Desperdicio.	6,1798%
Energía [kWh]	11,974 kWh
Energía [MJ]	43,10 MJ

Tabla 53. Impresión 3D. Resultados Sujeción Cónica.

3.2.3. Inyección.

La metodología para el proceso de inyección de la Sujeción Cónica, es la misma que la realizada en el apartado 3.1.3 para la Sujeción L.

Una vez escalado el molde, a través de la fórmula propuesta por Ballman y Shusman se calcula el tiempo mínimo de solidificación teórico de la pieza:

$$T_s = -\frac{S^2}{2\pi\theta} \ln \left[\frac{\pi T_x - T_m}{4(T_c - T_m)} \right] = 256.22 \text{ segundos}$$

Lo primero que se define para realizar la simulación es el número de puntos de inyección del molde. Para este caso, en parte debido a la geometría de la pieza así como a la cantidad de material, se ha establecido en tres puntos de entrada para facilitar la inyección del material. Detallado el número de entradas, se realiza un análisis de Posición de entrada que devuelve una representación del indicador de resistencia al flujo (Ilustración 45. Indicador de resistencia de flujo. Sujeción Cónica.).

A partir de los datos del Indicador de resistencia de flujo, se diseña el sistema de alimentación (Ilustración 47 e Ilustración 46). Dentro del apartado Geometría, se define el tamaño del molde, y se le proporciona en este caso de una capa flotante para facilitar la extracción y el diseño del sistema de refrigeración (Ilustración 44. Molde inyección. Sujeción Cónica.).

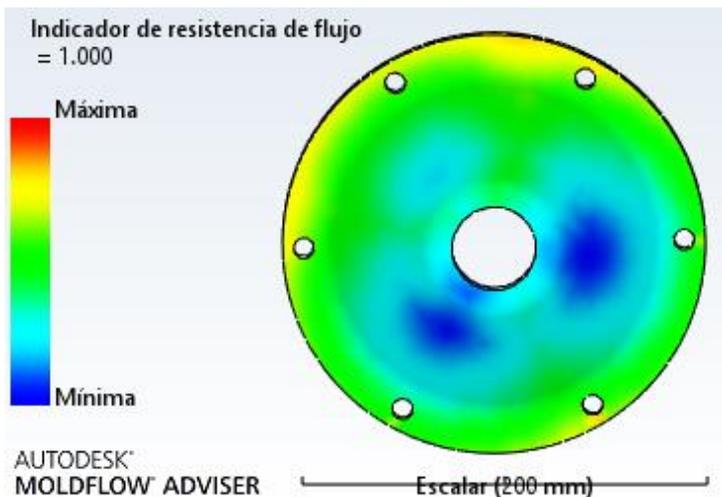


Ilustración 45. Indicador de resistencia de flujo. Sujeción Cónica.
Fuente propia.

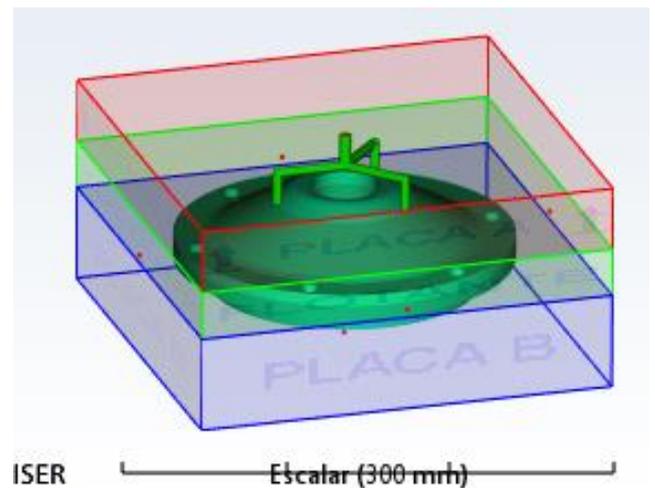


Ilustración 44. Molde inyección. Sujeción Cónica.
Fuente propia.

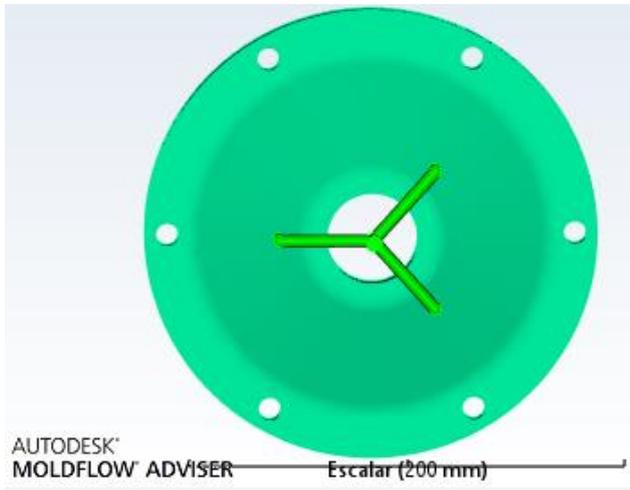


Ilustración 47. Sistema de alimentación vista 1. Sujeción Cónica. Fuente propia.

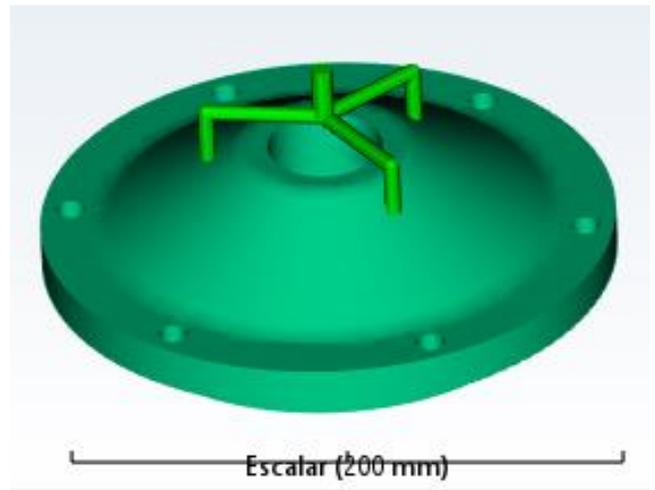


Ilustración 46. Sistema de alimentación vista 2. Sujeción Cónica. Fuente propia.

Después de definir el sistema de alimentación se establece, a través del Asistente de refrigeración, el sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración queda compuesto por seis circuitos de refrigeración establecidos en las tres capas del molde, resultando como se muestra en la Ilustración 48, en la Ilustración 49 y en la Ilustración 50.

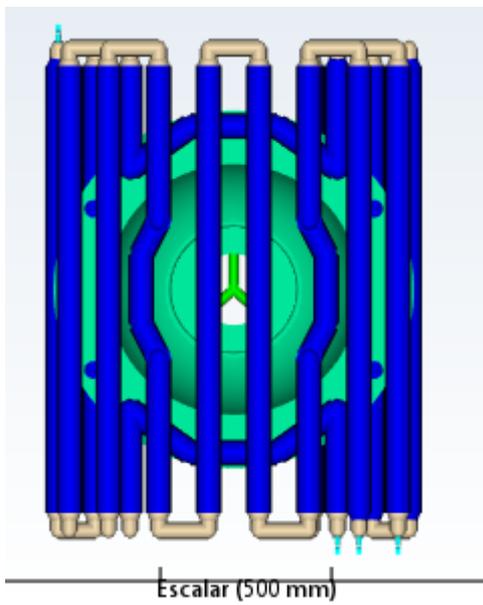


Ilustración 48. Sistema de refrigeración vista 1. Sujeción Cónica. Fuente propia.

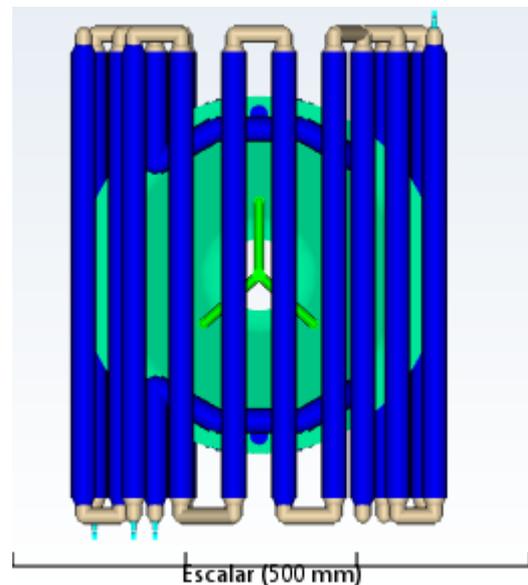


Ilustración 49. Sistema de refrigeración vista 2. Sujeción Cónica. Fuente propia.

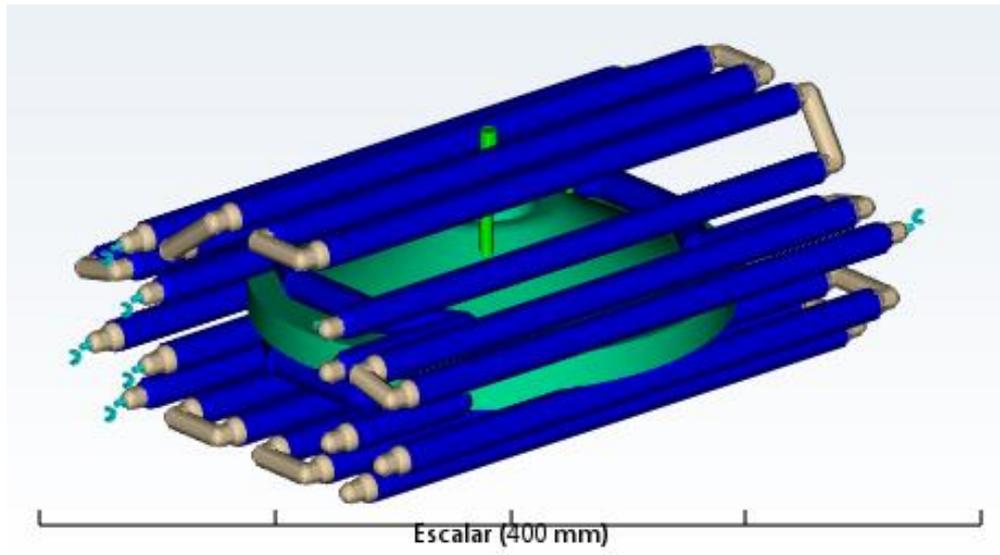


Ilustración 50. Sistema de refrigeración vista 3. Sujeción Cónica. Fuente propia.

Establecidos tanto el sistema de alimentación como el sistema de refrigeración, se detallan los parámetros de la simulación. El tiempo en el que se encuentra el molde abierto para la extracción de la pieza una vez terminado el proceso, se define en 5 segundos. El tiempo de pospresión se establece en 45 segundos.

Por último, la temperatura de inyección del material fundido se establece en 250°C y la temperatura del molde en 80°C.

A partir de estos parámetros se obtienen los siguientes resultados:

Inyección Sujeción Cónica	
Tiempo real de llenado	1.64 (seg)
Presión real de inyección	25.453 (MPa)
Área de fuerza de cierre	332.5537 (cm ²)
Fuerza de cierre máx.	3.024 (tonelada)
Peso total inyectado	842.005 (g)
Peso Pieza	835 (g)
Peso canales-bebederos	7.005 (g)
Desperdicio	0.8319 %
Tiempo del ciclo	345.38 (seg)

Tabla 54. Resultados Moldflow inyección Sujeción Cónica.

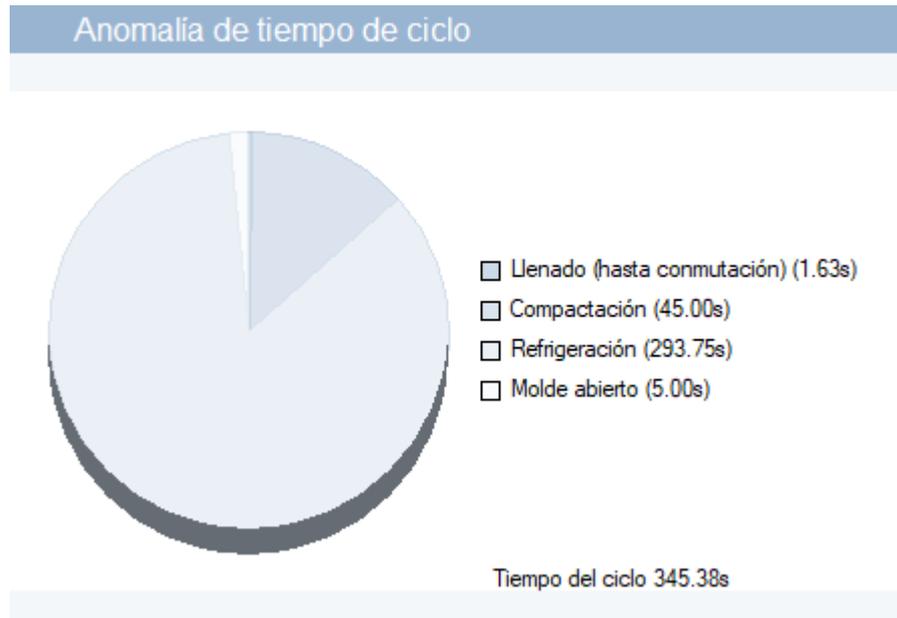


Ilustración 51. Desglose de tiempos inyección Sujeción Cónica.

Energía consumida en la inyección.

La energía consumida en el proceso de inyección puede diferenciarse en distintos consumos, dependiendo de la fase de inyección en la que se encuentre el proceso.

- **Calentamiento del material.**

La energía consumida en esta fase, se consigue obteniendo el calor que es necesario aplicar al nylon PA6. La variación de temperatura son 225 °C, al suponer una temperatura ambiente de 25 °C y siendo la temperatura de inyección 250 °C. Por lo que el calor que hay que aplicar es:

$$q = 0.842005[\text{Kg}] * \left(3060 \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right] * 225 \right) = 579720.44 \text{ J} = 0.16103 \text{ kWh}$$

- **Refrigeración de pieza.**

En la refrigeración de la pieza, uno de los es el correspondiente al calor que hay que evacuar para alcanzar la temperatura de expulsión.

$$q[\text{W}] = \frac{\text{Peso total inyección}[\text{gramos}] * \text{Calor a remover} \left[\frac{\text{J}}{\text{g}} \right]}{\text{Tiempo de ciclo} [\text{seg}]}$$

Con el peso de la pieza y el calor a evacuar característico del nylon PA6, multiplicando por el tiempo del ciclo de refrigeración para mostrar el resultado en Julios, se obtiene:

$$q = 842.005 * 520 = 437842.6 J = 0.121623 kWh$$

Otro consumo es el de la energía necesaria para impulsar el flujo de refrigerante a través del sistema de refrigeración. Para esto es necesario tener en cuenta las distintas presiones de inyección en cada uno de los canales dl sistema de refrigeración, así como el flujo de refrigerante de cada uno de ellos.

$$Potencia [W] = Presión [Pa] * Caudal \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Potencia [W] = (28.96 + 33.37 + 36.64 + 6.324 + 6.135 + 17.95) * \frac{10}{60} * \frac{10^3}{997}$$

$$E_{flujo.ref.} = 21.628 * 293.75 = 6351.077 J = 0.0017642 kWh$$

- **Inyección de material, pospresión y fuerza de cierre.**

La energía consumida en el proceso de inyección se calcula mediante la presión de inyección realizada, la cantidad de material inyectado y el tiempo de inyección.

El caudal de material inyectado se obtiene usando la densidad de la masa fundida:

$$Caudal \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{Peso inyectado [Kg]}{Tiempo inyección [s] * Densidad mat. fundido \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}$$

$$Caudal \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{0.842005}{1.64 * 0.96913 * 10^3} = 0.52977 * 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Siendo a partir de este caudal el consumo de energía en la inyección:

$$Energia = (25.453 * 10^3 * 0.52977) * 1.64 = 22114.219 [J] = 0.0061428 kWh$$

La energía consumida al realizar la presión de sostenimiento, se calcula a partir de la potencia obtenida para la inyección, considerando que la presión de sostenimiento se establece como el 80% de la presión de inyección en la simulación:

$$Energia = (20.111 * 10^3 * 0.52977) * 45 = 4794392012 [J] = 0.133178 kWh$$

En la inyección, la fuerza de cierre tiene como fin contrarrestar tanto la presión de inyección como la de sostenimiento para conseguir una buena calidad de la pieza. De tal forma que se ha definido la energía consumida en esta acción como un 10% mayor a la realizada en la inyección-compactación.

$$E_{cierre} = (0.0061428 + 0.133178) * 1.1 = 0.153253 \text{ kWh}$$

- **Resultados de Inyección.**

Aplicando un rendimiento del 65%, este se sitúa en el rango inferior entre el 60% y el 70% para tener en consideración cálculos que no se han podido obtener como la energía consumida por la apertura del molde que depende en gran medida de las dimensiones de este en función de la máquina en la que se realice el proceso (observando distintos procesos de inyección, el rendimiento se sitúa entre el 60% y el 80% en la mayoría de los casos, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/> (6)), siendo los resultados finales:

Parámetros	Inyección
Peso en bruto [Kg]	0.842005
Peso pieza [Kg]	0.835
Desperdicio [%]	0.8319
Tiempo de ciclo [seg]	345.38
Energía neta [kWh]	0.576991
Energía neta [MJ]	0.88767846
Consumo total [MJ]	3.19564246

Tabla 55. Resultados Inyección Sujeción Cónica.

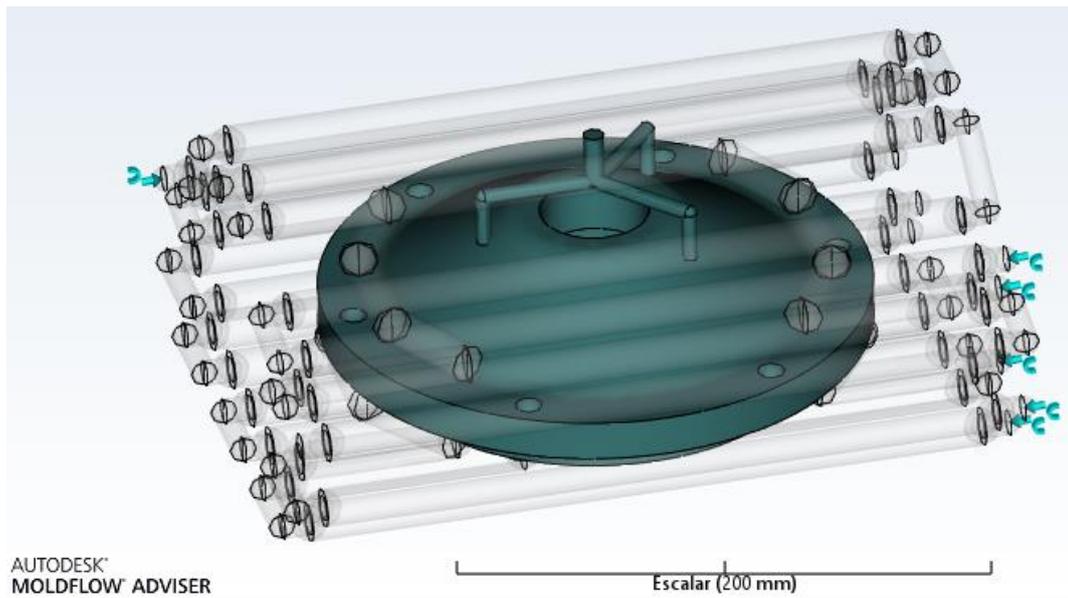


Ilustración 52. Pieza Sujeción Cónica terminada. Fuente propia.

3.3. Análisis de Ciclo de Vida.

Con el fin de estructurar de forma más sencilla el desarrollo del ACV, siguiendo lo especificado en la norma ISO 14040, se detallan primero el Objeto y el Alcance de forma conjunta para ambas piezas ya que son comunes, para luego detallar las siguientes etapas del proceso particularizándolas para cada una.

Objeto.

El objeto de este análisis es estudiar los distintos procesos de fabricación escogidos en términos de ecodiseño. En consecuencia, el objetivo es identificar cuál de los procesos de fabricación escogidos es menos perjudicial para el medio ambiente, tomando como indicador base las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

Alcance.

Dentro del alcance se concretan las funciones, la unidad funcional, el sistema del producto, la metodología de evaluación y los tipos de impactos, así como las hipótesis y limitaciones.

- Función.

La función principal de la Sujeción L y de la Sujeción Cónica es facilitar el desarrollo de otros procesos de fabricación, ya que se trata de utillajes.

- Unidad funcional.

Las unidades funcionales escogidas para la realización del ACV, han sido la pieza Sujeción L y la pieza Sujeción Cónica en sus casos correspondientes. Estas piezas sirven como herramienta para realizar el ACV de los procesos de fabricación.

- Sistema de producto.

Los límites del sistema, tal y como se especifica en la norma ISO 14040, tienen que quedar bien definidos para evitar problemas que puedan surgir durante la realización del ACV del producto.

En este proyecto, el ACV se centra en los procesos de fabricación, por lo tanto quedan excluidos del sistema posibles aportaciones referidas al transporte del producto terminado para su comercialización, aportaciones debidas a la fabricación de las máquinas necesarias para la realización de los distintos procesos o aportaciones que puedan ser consideradas durante el uso del producto. Estas limitaciones son debidas a que el proyecto no se centra en la funcionalidad o el uso propio de las piezas, sino en las

emisiones producidas durante los distintos procesos de fabricación para poder establecer comparaciones y análisis entre estos.

- Metodología de evaluación.

El software utilizado, como ya ha sido comentado anteriormente, se trata del OpenLCA 1.7.0, siendo el método de evaluación de los impactos el CML (baseline) en su versión [v4.4, January 2015]. Se van a obtener los datos de todas las categorías de impacto de este método, pero tomando especial énfasis en el de cambio climático representado por las emisiones de CO_2 .

Las contribuciones a partir de las cuales se van a obtener los resultados, siendo estas por tanto los “inputs” de nuestro sistema, van a ser tanto la cantidad de material necesaria como la cantidad de energía consumida durante el proceso de fabricación.

La hipótesis tomada a partir de la cual se han obtenido los datos de la energía consumida, es principalmente el valor del rendimiento dentro de los rangos observados, con el fin de incluir aspectos que no se han podido incorporar debido a la imposibilidad de conocer de forma totalmente exacta los distintos procesos.

- Requisitos de los datos.

La base de datos utilizada en el análisis es la “elcd_3_2_greendelta_v2_17”, de esta base de datos se escogen las distintas entradas, teniendo en cuenta que el estudio se realiza en España, por lo que dentro de las opciones que se encuentran en la base de datos se escogen las correspondientes a esta zona de Europa, o en su defecto para ámbito general.

- Revisión Crítica.

La revisión crítica de este análisis se realiza una vez terminado y obtenidos los resultados, comprobando que no se hayan producido fallos ni existan incongruencias con el fin de corregir cualquier error.

3.3.1. Análisis de Ciclo de Vida: Sujeción L.

Dentro del análisis de ciclo de vida de la Sujeción L, se realiza una comparación de los resultados obtenidos para cada uno de los procesos de fabricación. Se define cada proceso de fabricación como un sistema de producto distinto, realizándose el estudio de comparación de los tres dentro de un proyecto común. Todos presentan las mismas entradas del sistema, por lo que se escoge el mismo proveedor de recursos para no

incluir rasgos diferenciadores entre los procesos, pero cada uno de ellos con su valor específico a partir de lo obtenido estudiando el proceso.

Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

En la etapa de ICV, los flujos que entran al sistema se trata de la energía consumida en el proceso de fabricación referida en MJ, y la cantidad de material necesario para el proceso que en algunos casos se puede conocer como pieza en bruto cuyo valor se introduce en Kg de nylon PA6, obteniendo como salida la pieza Sujeción L.

- Mecanizado.

Los datos obtenidos del estudio de mecanizado se detallan en la Tabla 14, los más importantes son:

Peso en bruto de la pieza [Kg]	5.515
Consumo de energía total [MJ]	2.401960887

Inputs

Flow	Category	Amount	Unit
F _e Electricity	Energy carriers ...	2.40196	MJ
F _e nylon 6 (PA 6)	Materials prod...	5.51500	kg

Ilustración 53. Entradas Mecanizado Sujeción L.

Outputs

Flow	Amount	Unit
F _g Desechos de nylon	4.03300	kg
F _g Sujecion_L	1.00000	Item(s)

Ilustración 54. Salidas Mecanizado Sujeción L.

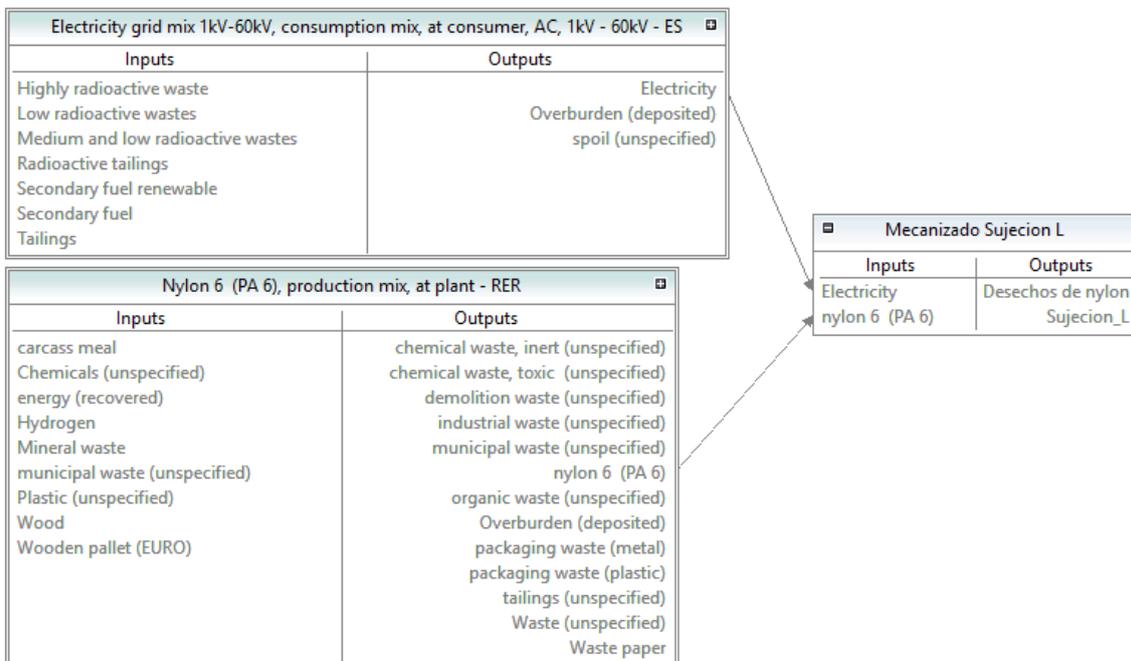


Ilustración 55. Diagrama de flujos Mecanizado Sujeción L.

- Impresión 3D, FDM.

Los datos obtenidos del estudio de la fabricación aditiva se muestran en la Tabla 27, los más importantes son:

Material utilizado[Kg]	1.4955
Consumo de energía total [MJ]	66,347

▼ Inputs

Flow	Category	Amount	Unit
F _g Electricity	Energy carriers ...	66.34700	MJ
F _g nylon 6 (PA 6)	Materials prod...	1.49550	kg

Ilustración 57. Entradas Fabricación Aditiva Sujeción L.

▼ Outputs

Flow	Amount	Unit
F _g Desechos de nylon	0.01300	kg
F _g Sujecion_L	1.00000	Item(s)

Ilustración 58. Salidas Fabricación Aditiva Sujeción L.

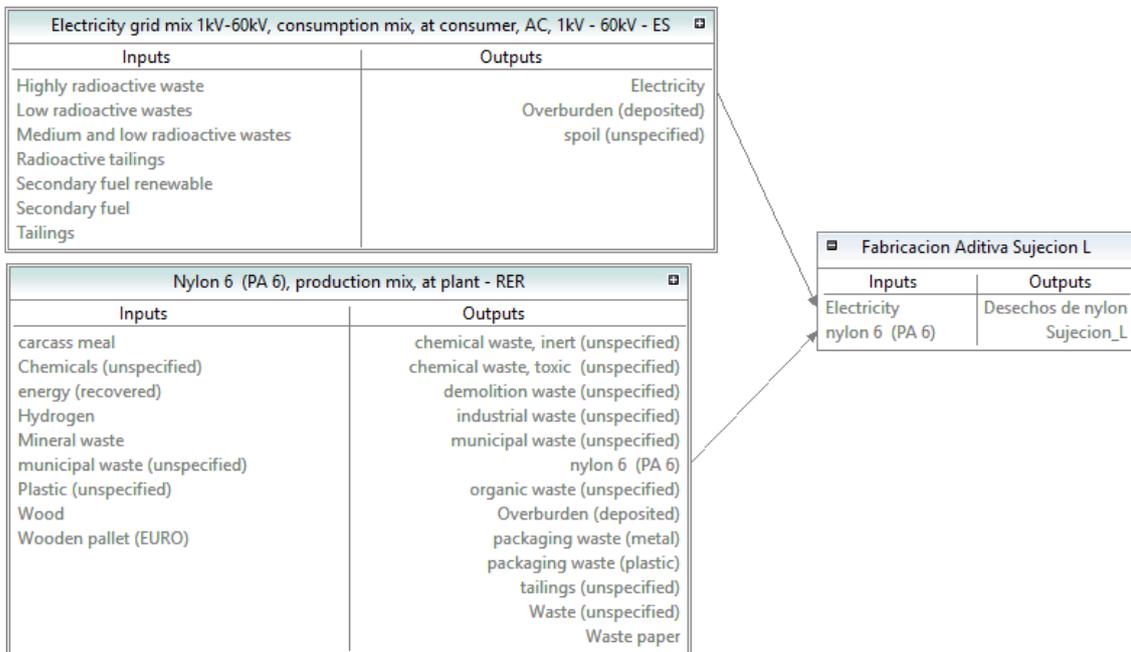


Ilustración 56. Diagrama de flujos Fabricación Aditiva Sujeción L.

- Inyección.

Del estudio del proceso de inyección se obtienen los datos de la Tabla 29.

Material utilizado[Kg]	1.501309
Consumo de energía total [MJ]	6.2553

Inputs			
Flow	Category	Amount	Unit
F _e Electricity	Energy carriers ...	6.25530	MJ
F _e nylon 6 (PA 6)	Materials prod...	1.50131	kg

Ilustración 60. Entradas Inyección Sujeción L.

Outputs		
Flow	Amount	Unit
F _r Desechos de nylon	0.01931	kg
F _e Sujecion_L	1.00000	Item(s)

Ilustración 59. Salidas Inyección Sujeción L.

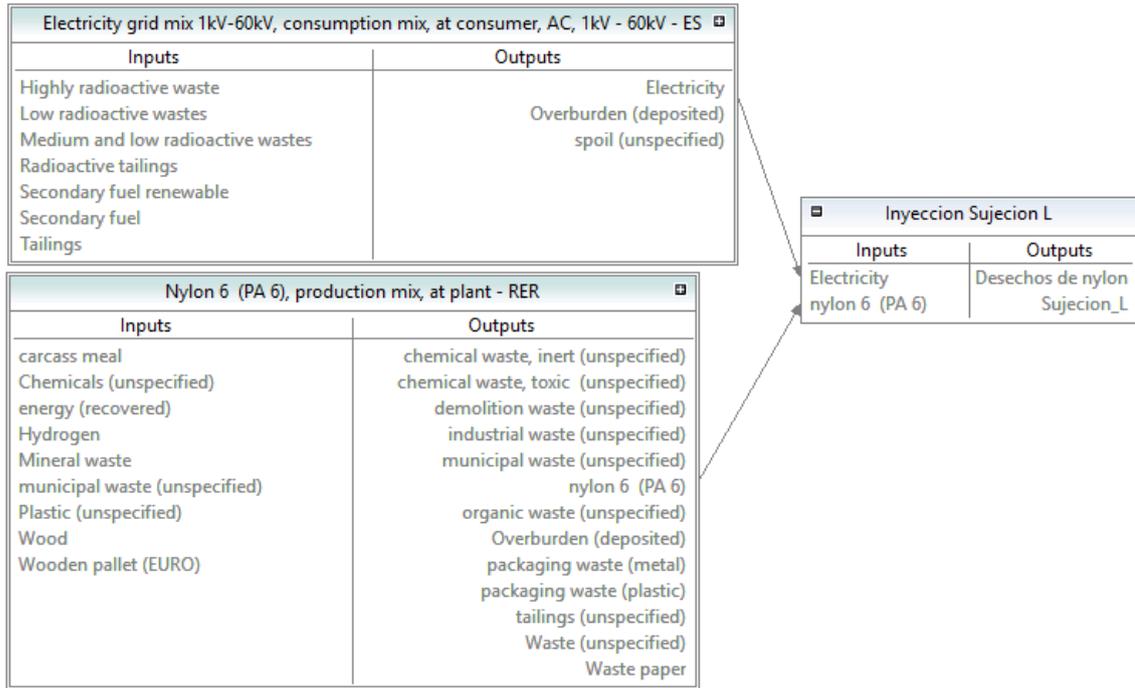


Ilustración 61. Diagrama de flujos Inyección Sujeción L.

Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.

Los resultados se han obtenido para todas las categorías de impacto, mostrándose en la Tabla 56 los correspondientes a las emisiones de CO_2 para cada uno de los procesos que se trata de la unidad de referencia de la categoría definida como cambio climático. Los resultados obtenidos para el resto de categorías se muestran en el Anexo VIII: Valores EICV.

Proceso de fabricación.	kg CO2 eq.
Mecanizado	51.1175
Fabricación Aditiva	21.7488
Inyección	14.5878

Tabla 56. Emisiones CO2 de los procesos de fabricación. Sujeción L.

En los siguientes gráficos, se muestra la contribución de cada una de las entradas a las emisiones de CO_2 , para cada proceso de fabricación.

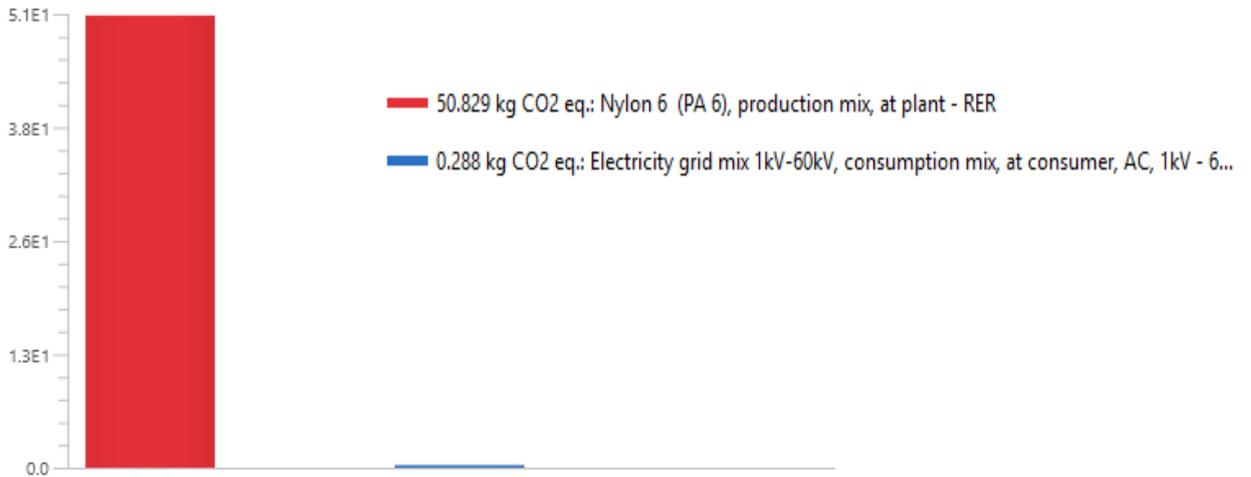


Ilustración 62. Contribuciones CO2 Mecanizado Sujeción L Fuente propia.

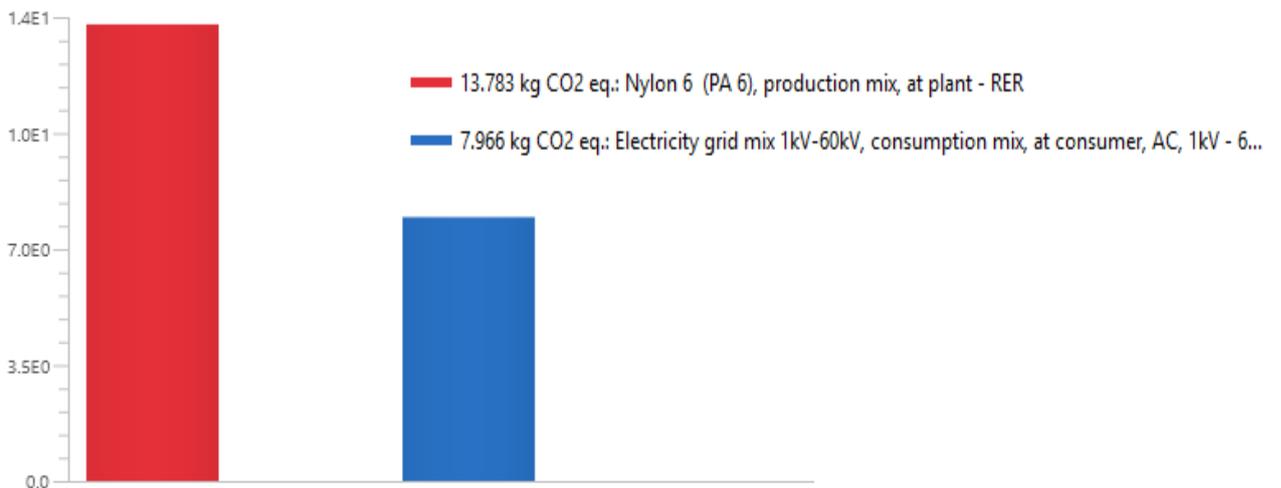


Ilustración 63. Contribuciones CO2 Fabricación Aditiva Sujeción L. Fuente propia.

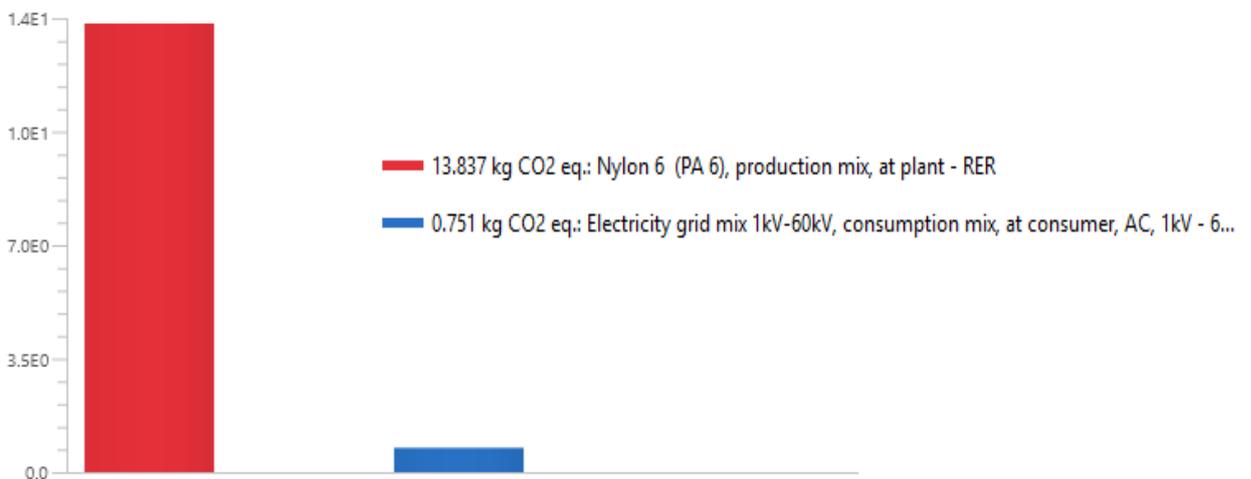


Ilustración 64. Contribuciones CO2 Inyección Sujeción L. Fuente propia.

3.3.2. Análisis de Ciclo de Vida: Sujeción Cónica.

En el análisis de ciclo de vida de la Sujeción Cónica, se repiten los pasos del punto 3.3.1. Cada proceso de fabricación queda definido como un sistema de producto distinto, para luego incluir los tres procesos en un proyecto común.

Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

Para establecer el ICV, se definen como entradas la cantidad de material y de energía consumidos para la obtención de la pieza, quedando como salidas la propia pieza terminada y los restos de material. Los valores correspondientes a los distintos flujos de entrada han sido calculados en los apartados anteriores.

- Mecanizado.

Del estudio de mecanizado se obtienen los datos de la Tabla 40, de estos los usados son:

Peso en bruto de la pieza [Kg]	2.292
Consumo de energía total [MJ]	2.118184953

▼ Inputs

Flow	Category	Amount	Unit
Electricity	Energy carriers ...	2.11818	MJ
nylon 6 (PA 6)	Materials prod...	2.29200	kg

Ilustración 66. Entradas Mecanizado Sujeción Cónica.

▼ Outputs

Flow	Amount	Unit
Desechos de nylon	1.45700	kg
Sujecion_Conica	1.00000	Item(s)

Ilustración 65. Salidas Mecanizado Sujeción Cónica.

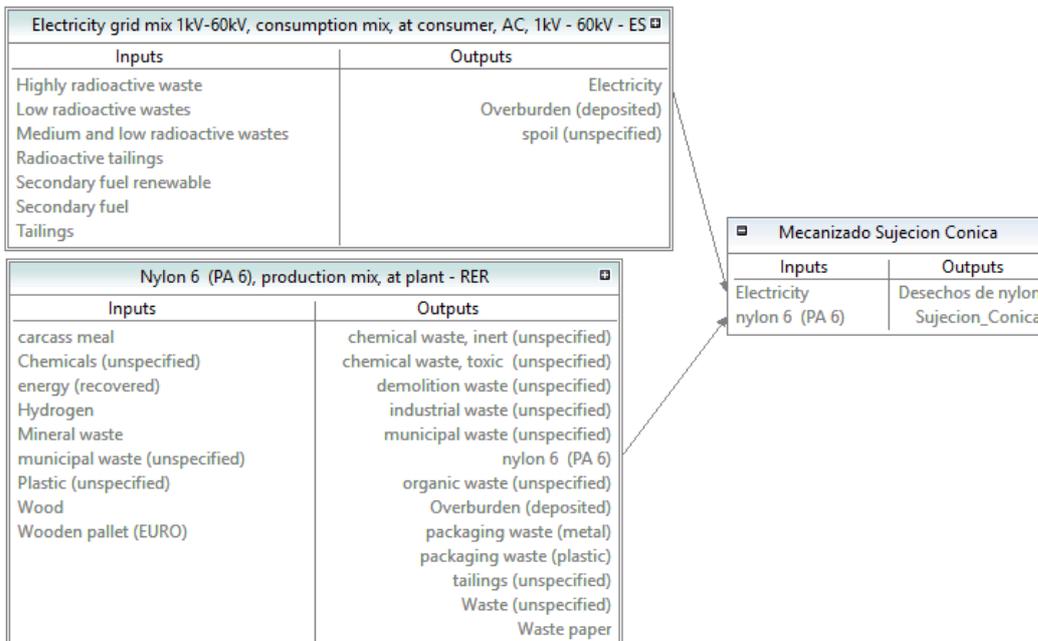


Ilustración 67. Diagrama de flujos Mecanizado Sujeción Cónica.

- Impresión 3D, FDM.

A partir del estudio de la fabricación aditiva para la Sujeción Cónica se obtienen los datos de la Tabla 53. De entre estos datos, los utilizados para establecer los valores para los flujos de entrada son:

Material utilizado[Kg]	0.890
Consumo de energía total [MJ]	43.100

▼ Inputs

Flow	Category	Amount	Unit
Electricity	Energy carriers and tec...	43.10000	MJ
nylon 6 (PA 6)	Materials production/...	0.89000	kg

Ilustración 69. Entradas Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.

▼ Outputs

Flow	Amount	Unit
Desechos de nylon	0.05100	kg
Sujecion_Conica	1.00000	Item(s)

Ilustración 68. Salidas Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.

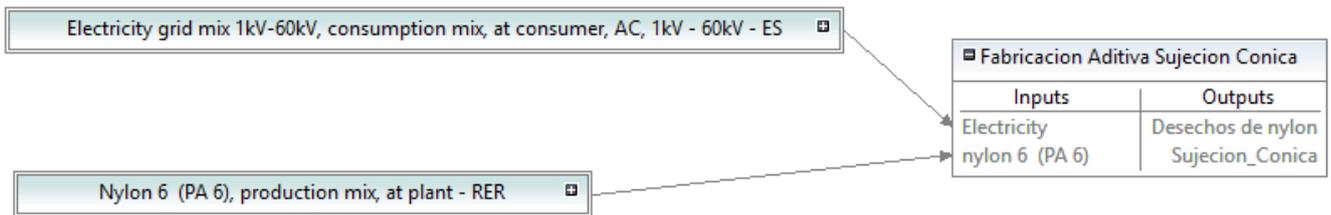


Ilustración 70. Diagrama de flujos Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.

- Inyección.

Los resultados del proceso de inyección se muestran en la Tabla 55. Para el ICV se utilizan el material utilizado y el consumo de energía.

Material utilizado[Kg]	0.84201
Consumo de energía total [MJ]	3.19564

▼ Inputs

Flow	Category	Amount	Unit
Electricity	Energy carriers ...	3.19564	MJ
nylon 6 (PA 6)	Materials prod...	0.84201	kg

Ilustración 71. Entradas Inyección Sujeción Cónica.

▼ Outputs

Flow	Amount	Unit
Desechos de nylon	0.00700	kg
Sujecion_Conica	1.00000	Item(s)

Ilustración 72. Salidas Inyección Sujeción Cónica.

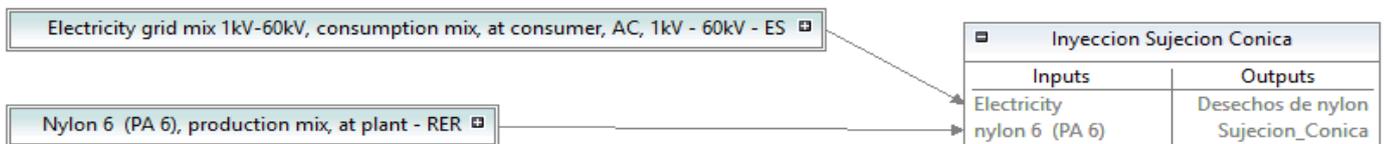


Ilustración 73. Diagrama de flujos Inyección Sujeción Cónica.

Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.

Se obtienen los resultados para todas las categorías de impacto, mostrándose las emisiones de CO_2 para cada uno de los procesos en la Tabla 57. Los resultados obtenidos para el resto de categorías se muestran en el Anexo VIII: Valores EICV.

Proceso de fabricación.	kg CO2 eq.
Mecanizado	21,3786
Fabricación Aditiva	13,37723
Inyección	8,14403

Tabla 57. Emisiones CO2 de los procesos de fabricación. Sujeción Cónica.

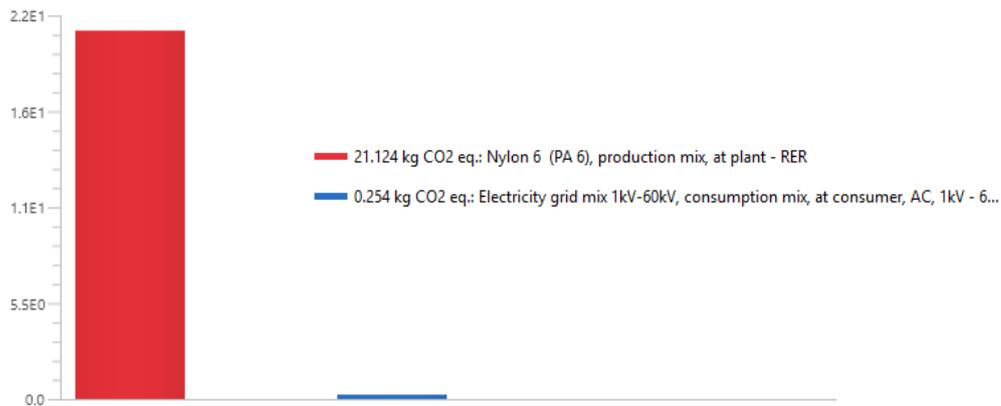


Ilustración 74. Contribuciones CO2 Mecanizado Sujeción Cónica. Fuente propia.

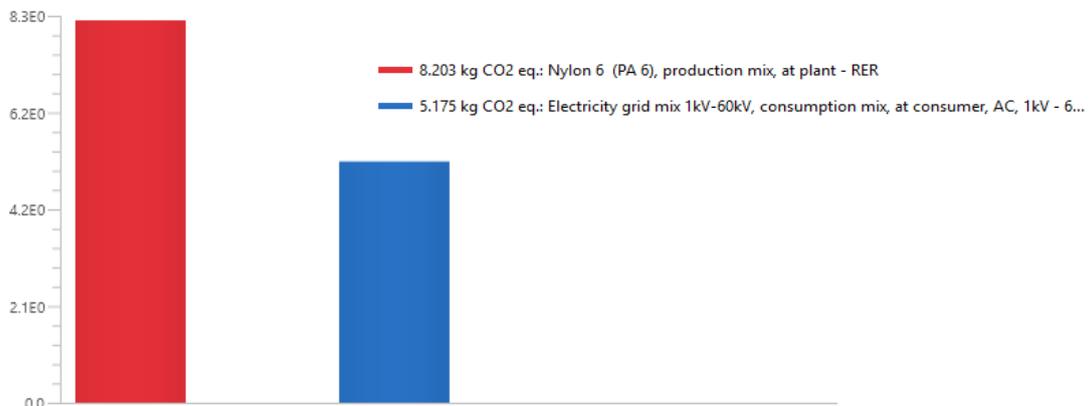


Ilustración 75. Contribuciones CO2 Fabricación Aditiva Sujeción Cónica. Fuente propia.

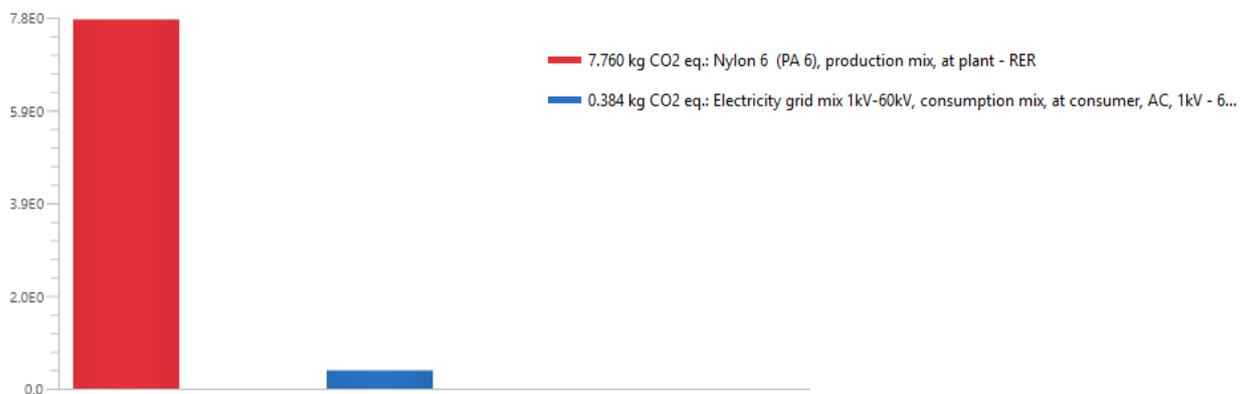


Ilustración 76. Contribuciones CO2 Inyección Sujeción L. Fuente propia.

4. Conclusiones.

Para analizar y obtener unas conclusiones de forma más clara se muestran los resultados en la Tabla 58 y en la Tabla 59, con el fin de observar mejor las distintas características de los procesos de fabricación y sus correspondientes emisiones de CO_2 .

Resultados Pieza Sujeción L.			
	Mecanizado	Fabricación Aditiva	Inyección
Peso material necesario [Kg]	5.515	1.4955	1.501309
Peso Pieza [Kg]	1.482	1.482	1.482
Desperdicio [%]	73.1278	0,9027	1.286
Tiempo de fabricación	382 seg	38 h 47 min 30 seg	645.85 seg
Consumo de Energía total [MJ]	2.401960887	66,347 MJ	6.2553
Emisiones de CO_2 [Kg]	51.1175	21.7488	14.5878

Tabla 58. Resultados comparación Sujeción L.

Resultados Pieza Sujeción Cónica.			
	Mecanizado	Fabricación Aditiva	Inyección
Peso material necesario [Kg]	2.292	0.890	0.842005
Peso Pieza [Kg]	0.835	0.835	0.835
Desperdicio [%]	63.5689	6,1798	0.8319
Tiempo de fabricación	839 seg	25 h 11 min	345.38 seg
Consumo de Energía total [MJ]	2.118184953	43.10	3.19564
Emisiones de CO_2 [Kg]	21,3786	13,37723	8,14403

Tabla 59. Resultados comparación Sujeción Cónica.

Se realiza un análisis crítico para comprobar la validez de los resultados, siendo este un análisis al que deben ser sometidos todos los ACV según las normas que los detallan (Norma UNE-EN ISO 14040.(55) y Norma UNE-EN ISO 14044.(56)).

Mediante este análisis crítico se puede apreciar como las emisiones de CO_2 obtenidas utilizando el software OpenLCA se sitúan dentro de unos rangos cercanos a los que se podían haber obtenido realizando los cálculos de forma teórica. Estos cálculos se pueden obtener a partir de las emisiones definidas para el consumo de energía kWh y para la producción del nylon PA6, que se muestran en la Tabla 60.

Contribuciones	Emisiones de CO_2	Fuente:
Producción de Nylon	9.1 Kg CO_2 /Kg Nylon	Berners Lee, M. How Bad Are Bananas? The Carbon Footprint of Everything.
Consumo de energía	0.392 Kg CO_2 /kWh	http://canvici climatic.gencat.cat

Tabla 60. Datos teóricos de emisiones.

A partir de los resultados, se puede observar que de entre los tres procesos de fabricación analizados, el que presenta unas emisiones de CO_2 inferiores es el proceso

de inyección. En la Ilustración 77 se muestran las emisiones de cada proceso. A su vez en la

Ilustración 78 se muestran dichas emisiones en porcentaje, tomando para ambas piezas el valor máximo de entre los procesos como el 100%.

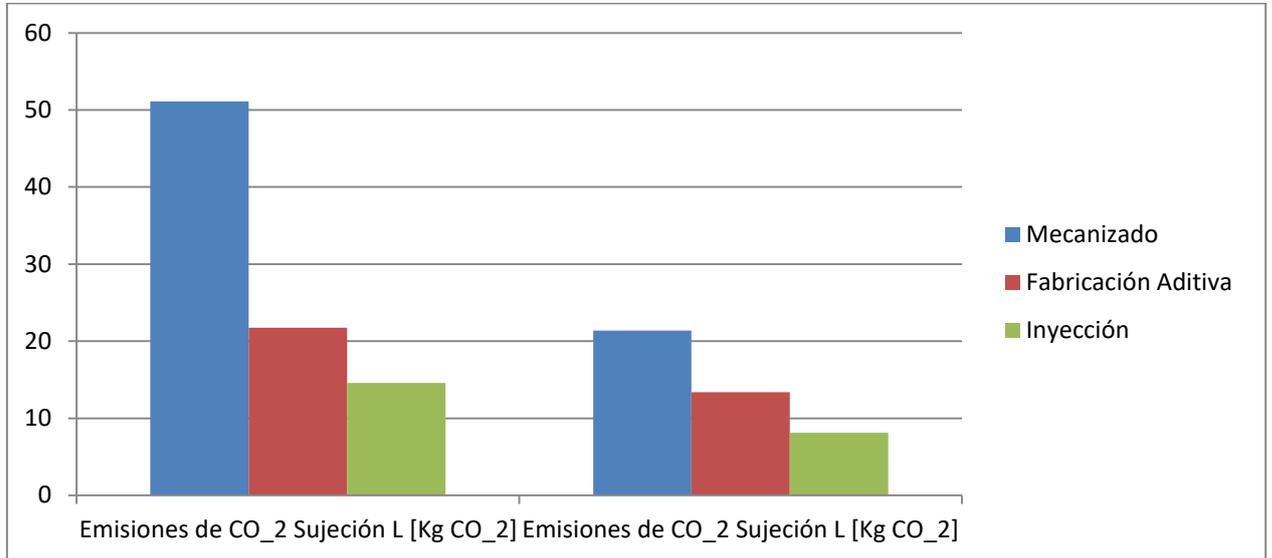


Ilustración 77. Emisiones CO₂ Procesos de Fabricación 1. Fuente propia.

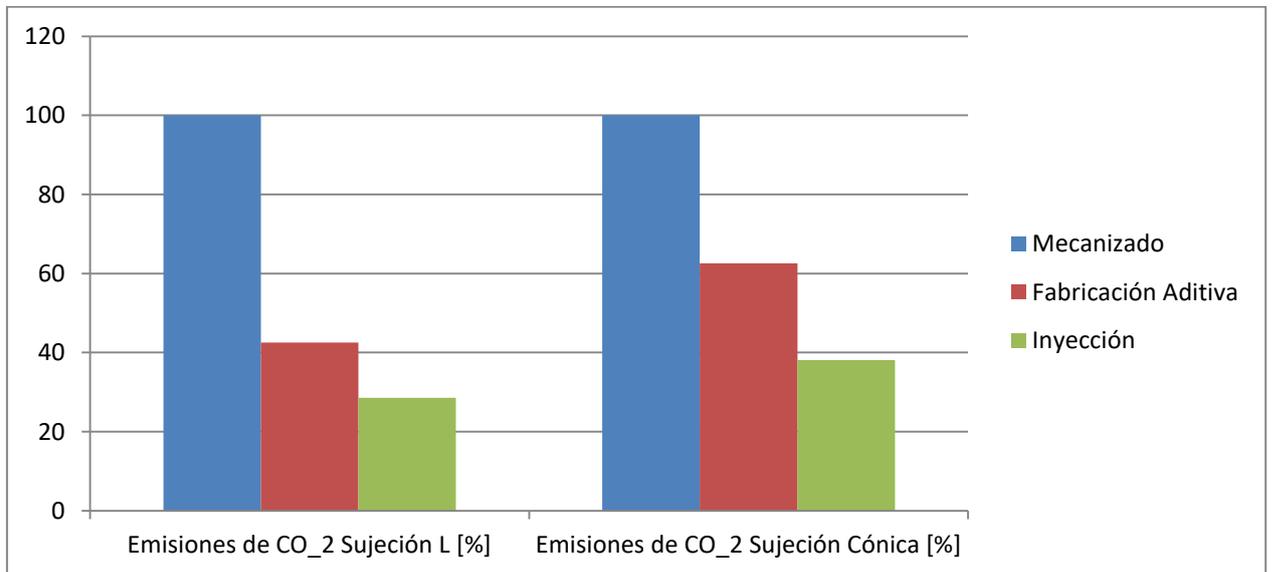


Ilustración 78. Emisiones CO₂ Procesos de Fabricación 2. Fuente propia.

Por lo tanto, atendiendo a las emisiones de CO₂, el proceso de fabricación mediante inyección es el que presenta unas mejores condiciones, siendo el menos perjudicial para el medio ambiente y el mejor en términos de ecodiseño, siempre en el ámbito de piezas de este tipo, tamaño, material, etc. Realizando una media entre los valores obtenidos para las dos piezas, con el fin de tener unos datos más relevantes, se observa que las

emisiones producidas en el proceso de fabricación son alrededor de tres veces mayores a las del proceso de inyección. Las emisiones del proceso de fabricación aditiva son también unas 1,5 veces mayores a las realizadas mediante inyección, a pesar de que son la mitad que las producidas en el proceso de mecanizado. Esto se observa en la Ilustración 79.

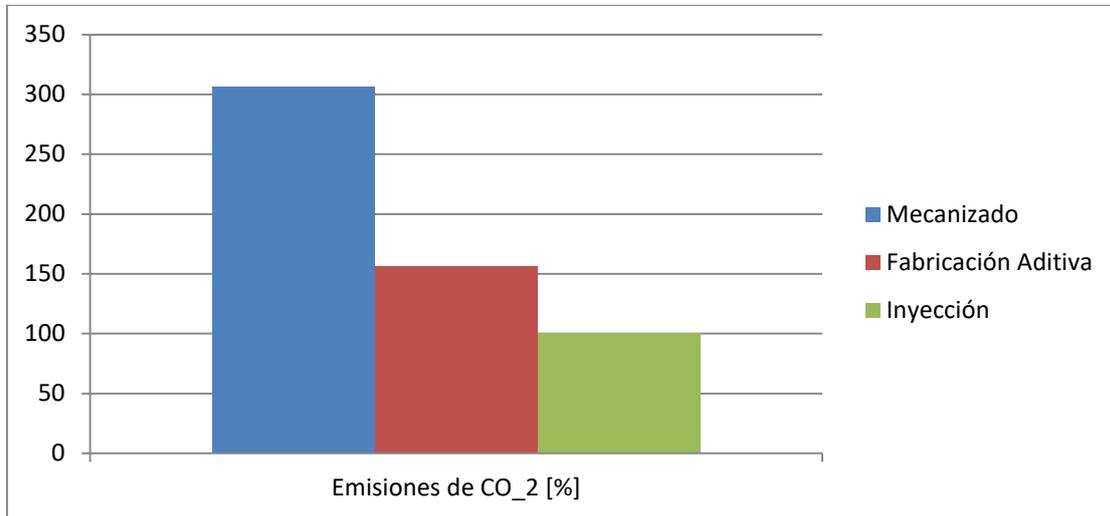


Ilustración 79. Emisiones de CO₂ Procesos de Fabricación 3. Fuente propia.

Cabe destacar que a la hora de obtener las emisiones para cada uno de los procesos, no se han tenido en cuenta las distintas emisiones que serían generadas en la producción de las máquinas o elementos utilizados en cada proceso (tales como los moldes en el proceso de inyección, los utillajes en el proceso de mecanizado o las propias máquinas tanto de impresión como de inyección o los centros de mecanizado), debido a la gran variedad de elementos existentes.

Es necesaria a su vez la definición de la cantidad de piezas producidas durante la vida útil de cada uno de los elementos, para agregar la parte correspondiente de emisión de una pieza, lo que no es el objetivo de este trabajo. Tampoco se ha tenido en cuenta para elegir el proceso más óptimo, los distintos tiempos de producción de los procesos o los costes que llevaría asociado el uso de las distintas máquinas u operarios necesarios, ya que este trabajo no trata sobre un análisis de costes, sino sobre un análisis en términos de ecodiseño.

A su vez es importante reseñar que todos los softwares utilizados en la realización de este proyecto son libres o han sido utilizados con licencia de la universidad.

Tras el trabajo realizado en este proyecto, se puede concluir que es de especial importancia que dentro del proceso de fabricación y diseño de un producto, se incluya también el proceso medio ambiental y de mejora con el fin de realizar un “rediseño

medioambiental” para reducir las emisiones y optimizar los procesos, tal y como se puede observar también en el siguiente apartado 4.1 Posibles mejoras.

4.1. Posibles mejoras.

A la hora de estudiar las distintas mejoras que se pueden realizar para disminuir las emisiones de CO_2 , estas se han realizado de forma específica para cada proceso.

Mecanizado.

Como se puede observar, un gran porcentaje de las emisiones de CO_2 se debe a la cantidad de material necesario para la fabricación de las distintas piezas. Este hecho es un factor claramente importante en el proceso de mecanizado, por la gran cantidad de desecho de material que se crea. Para paliar esto e intentar reducir las emisiones, se someten los desechos a un proceso de reciclado mecánico, mediante el cual se le devuelve a su estado de servicio. Esta operación conlleva un consumo extra de energía, pero su resultado es el de una producción de material inferior.

El proceso de reciclado mecánico del nylon, se basa principalmente en un primer triturado de las virutas para luego mediante un proceso de extrusión obtener nuevas barras de nylon (intervienen más fases dentro de este proceso, pero las más importantes y que presentan un mayor consumo son las ya nombradas). Los termoplásticos, debido a sus características, son fáciles de reciclar, pero no se puede repetir el proceso más de 5 ó 7 veces con el fin de que el material siga presentando unas propiedades óptimas (46).

En este caso se toma como 7 el número de veces que se reciclan los desechos del proceso de mecanizado. Para distribuir las emisiones que se producirían en la obtención de nuevo material, una vez no se puedan volver a reciclar los desechos, se pondera entre las veces que se realiza el reciclaje, siendo esta una forma de “incluir” dentro de cada pieza las emisiones de la nueva materia prima. Por lo tanto el porcentaje de desechos que se va a considerar reciclable es del $85.71\% = \left(100 - \frac{100}{7}\right)$.

Para facilitar el cálculo de la energía consumida tanto en el triturado como en la extrusión, se utilizan los propios valores de consumo de energía de la máquina SJ-150B de la casa Qingdao Changjie Machinery Co. Ltd como extrusora (es necesario el uso de un husillo con un diámetro superior al de serie) y la máquina BOMATIC B400-E como trituradora.

Máquina	Pot. de trabajo [kW]	Cap. de trabajo [Kg/h]	Consumo [MJ/Kg]
BOMATIC B400-E	3	75	0.144
SJ-150B	380	950	1.44

Tabla 61. Características de máquinas de reciclado.

Por lo tanto el consumo de energía de energía para reciclar un Kg de nylon PA6 es de 1.584 MJ a partir de los datos mostrados en la Tabla 61. Características de máquinas de reciclado. Con estos datos se recalculan las emisiones de CO_2 para este proceso.

Los parámetros del proceso de mecanizado para ambas piezas teniendo en cuenta el proceso de reciclado al que se someten los desechos de material producidos son:

	Sujeción L	Sujeción Cónica
Peso pieza [Kg]	1.482	0.835
Peso en bruto [Kg]	5.515	2.292
Desechos [Kg]	4.033	1.457
Material reciclado [Kg]	3.4566843	1.248795
Peso material necesario [Kg]	2.0583157	1.043205
Consumo proceso de fabricación [MJ]	2.40196089	2.11819
Consumo proceso reciclado [MJ]	5.40196089	1.978091
Consumo total [MJ]	7.87734882	4.09628

Tabla 62. Parámetros del proceso de mecanizado con reciclaje.

Con los nuevos datos se realiza un nuevo ACV mediante el programa OpenLCA para obtener las nuevas emisiones de CO_2 a la atmósfera. Como se puede observar en la Tabla 63 las emisiones se reducen en el entorno del 50-60 % situándose en el rango del proceso de fabricación aditiva.

Emisiones de CO_2	Con proceso de reciclado	Sin reciclar desechos
Sujeción L	19.9162	51.1175
Sujeción Cónica	10.1065	21.3786

Tabla 63. Emisiones proceso de mejora Mecanizado.

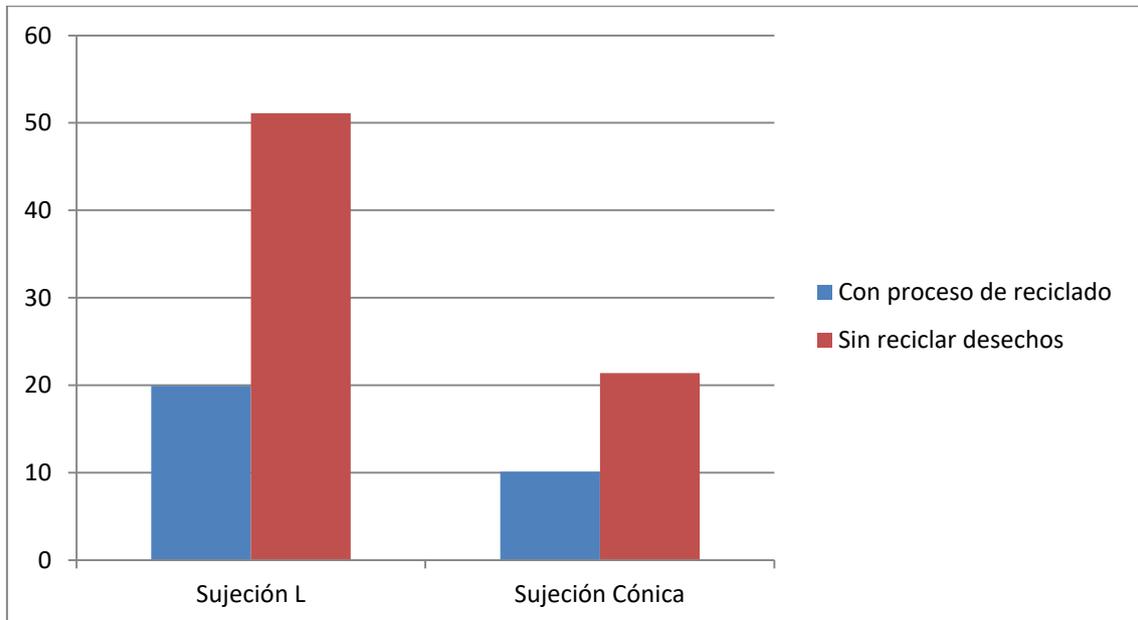


Ilustración 80. Comparación de mejoras de mecanizado. Fuente propia.

Inyección.

A la hora de analizar posibles mejoras para el proceso de inyección, se observa que dos de las contribuciones principales al consumo de energía son las correspondientes al calentamiento del material y al enfriamiento de la pieza. En este proceso los desechos de material no representan un alto porcentaje, por lo que no se van a enfocar las mejoras en ese apartado.

Para mejorar ambos apartados se ha realizado un rediseño de la pieza, manteniendo las dimensiones exteriores pero realizando orificios y huecos en la geometría con el fin de reducir el peso de esta y reducir el espesor de las paredes para facilitar el enfriamiento del material. De esta forma los nuevos diseños de ambas piezas quedan como se muestra en la Ilustración 81 y la Ilustración 82 para la Sujeción L, y en la Ilustración 84 y la Ilustración 83 para la Sujeción Cónica.

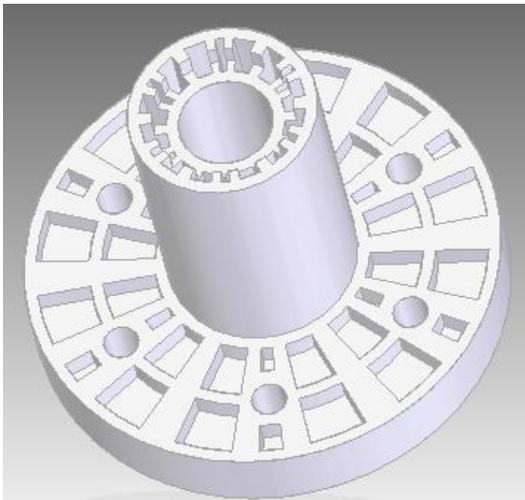


Ilustración 82. Sujeción L modificada 1. Fuente propia.

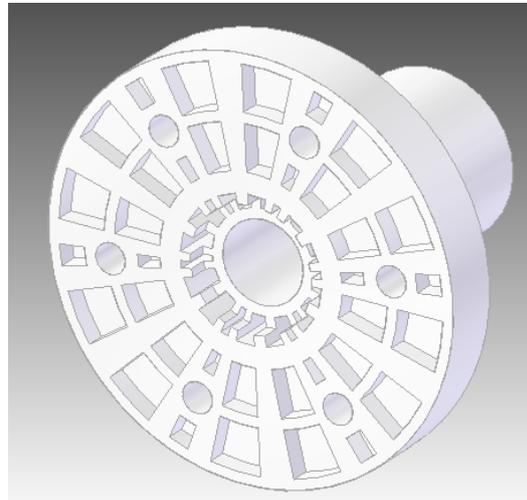


Ilustración 81. Sujeción L modificada 2. Fuente propia.

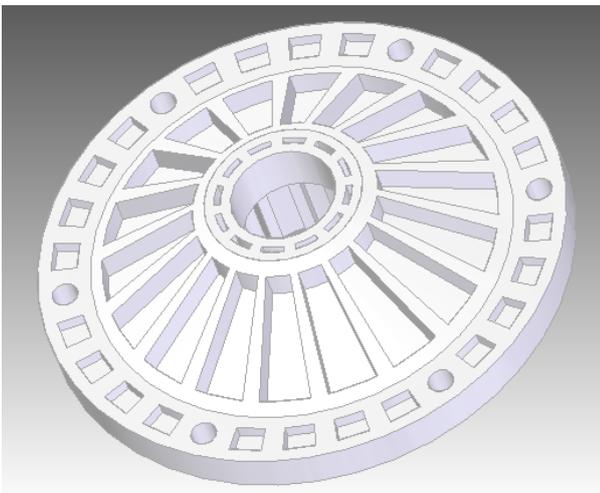


Ilustración 84. Sujeción Cónica modificada 1. Fuente propia.

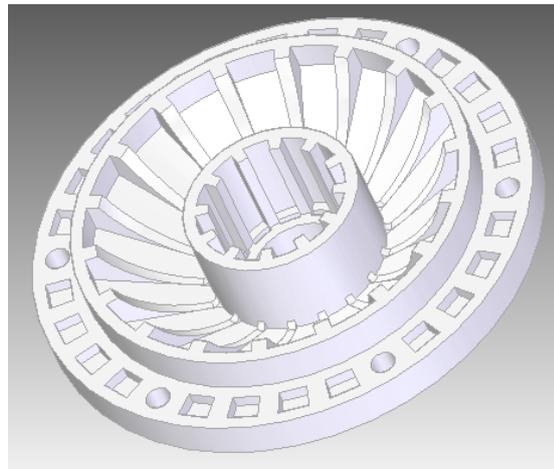


Ilustración 83. Sujeción Cónica modificada 2. Fuente propia.

A partir de estas nuevas piezas los datos obtenidos tanto de la simulación del proceso de inyección, como de la cuantificación de sus emisiones de CO_2 mediante el ACV son:

	Sujeción L	Sujeción Cónica
Material necesario [Kg]	1.104	0.608
Peso pieza [Kg]	1.044	0.582
Tiempo de ciclo [seg]	164.64	85.85
Consumo total [MJ]	2.405395	1.28879

Tabla 64. Parámetros del proceso de inyección con rediseño.

Emisiones de CO_2	Con rediseño	Sin rediseño
Sujeción L	10.4638	14.5878
Sujeción Cónica	5.75838	8,14403

Tabla 65. Emisiones proceso de mejora Inyección.

Se observa que las emisiones se reducen alrededor de un 30%, esto se debe principalmente a dos factores, la menor cantidad de material que resulta en un consumo para calentar el material menor, y un menor espesor de las paredes facilita todo el proceso de refrigeración. Hay que tener en cuenta que tras este rediseño, las piezas dejan de ser las mismas para los distintos procesos de fabricación, por lo que se altera de alguna forma la comparación entre los distintos procesos.

A pesar de esto, sirve para mostrar posibles campos de mejora para dicho proceso, con el fin de obtener unas emisiones inferiores. A su vez, este nuevo rediseño, se supedita a que cumplan los requisitos de resistencia a los que las piezas vayan a ser sometidas, por lo que antes de su aplicación debe realizarse un análisis de elementos finitos para comprobar su adecuación.

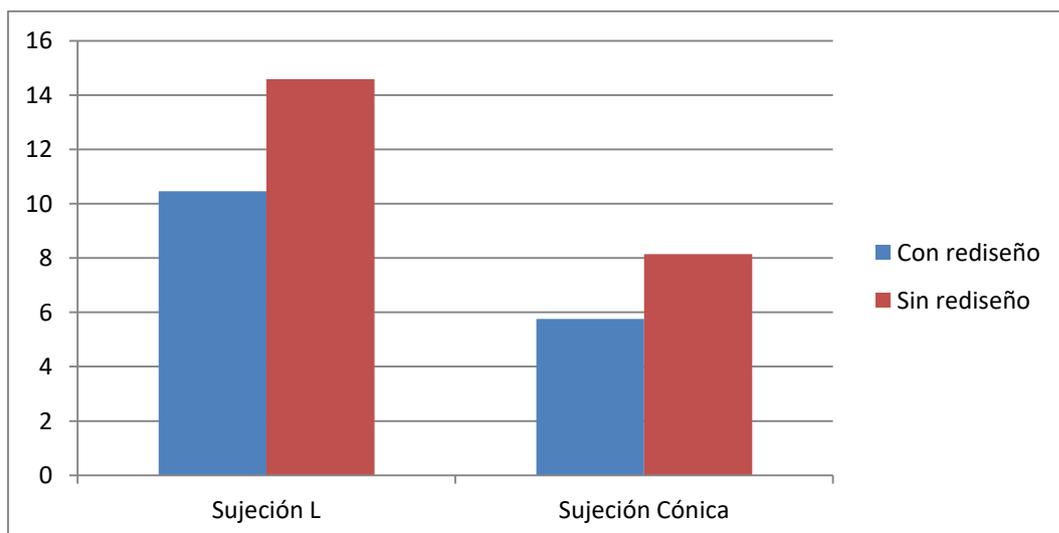


Ilustración 85. Comparación de mejoras de inyección. Fuente propia.

Fabricación Aditiva.

Dentro del proceso de fabricación aditiva, las mejoras en busca de reducir las emisiones, se centran en gran medida en la reducción del material a inyectar, para así reducir el tiempo de proceso disminuyendo también su consumo.

Estas mejoras se centran por un lado en el rediseño de las piezas realizado para el proceso de inyección, y por otro lado realizando las piezas con un porcentaje de relleno inferior, de forma que el resultado no sea macizo. A la hora de realizar de nuevo el proceso de impresión 3D con unos porcentajes de relleno inferiores, estos porcentajes se han definido en un 80% y un 60%, ya que según el porcentaje de relleno de una pieza esta se utiliza para unos usos determinados, como se muestra en la Tabla 66.

Usos recomendados	Porcentaje de relleno
Flotadores	0% al 5%
Maquetas	5% al 10%
Uso general	15% al 25%
Uso mecánico leve	25% al 40%
Uso mecánico exigente	40% al 80%
Resistencia al impacto	80% al 100%

Tabla 66. Porcentajes de relleno según usos. Fuente 23.

En ambos casos se realizan las simulaciones del proceso de fabricación y a partir de los resultados obtenidos, mostrados en la Tabla 67 y en la Tabla 68, se realizan los ACV para obtener las emisiones de CO_2 .

Sujeción Cónica	Rediseño	Relleno 80%	Relleno 60%
Material necesario [Kg]	0.641	0.759	0.623
Peso pieza [Kg]	0.582	0.705	0.57
Tiempo proceso	1d 3h 13min	22h 28min 30seg	19h 31 min
Consumo total [MJ]	46.6245	38.4705	33.408

Tabla 67. Parámetros mejoras Impresión 3D Sujeción Cónica.

Sujeción L	Rediseño	Relleno 80%	Relleno 60%
Material necesario [Kg]	1.0655	1.244	0.9915
Peso pieza [Kg]	1.044	1.24	0.988
Tiempo proceso	1d 15h 14min	1d 9h 48min	1d 4h 6min
Consumo total [MJ]	67.0815	57.768	48.048

Tabla 68. Parámetros mejoras Impresión 3D Sujeción L.

Emisiones de CO_2	Rediseño	Relleno 80%	Relleno 60%	Sin rediseño
Sujeción Cónica	11.5055	11.6141	9.75281	13.3772
Sujeción L	17.8739	18.4009	14.9068	21.7488

Tabla 69. Emisiones proceso de mejora de impresión 3D.

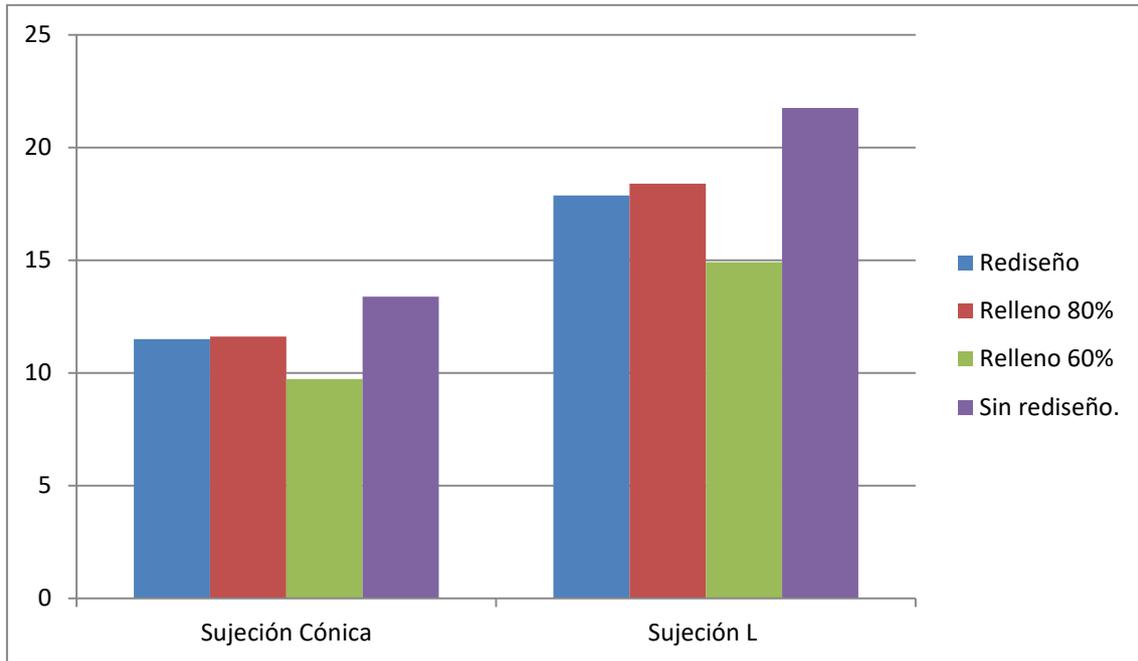


Tabla 70. Comparación mejoras Impresión 3D. Fuente propia.

En este caso, se aprecia una reducción de entorno al 15% tanto para el rediseño realizado como para la misma pieza fabricada con un porcentaje de relleno del 80%. Esta reducción es la que se puede considerar factible para que la pieza mantenga sus propiedades, a pesar de que sería necesario un análisis completo de las nuevas piezas para verificar que cumplan con los requisitos necesarios. De la misma forma se observa una reducción de un 30% de emisiones de CO_2 en el caso de un relleno del 60%, aunque en este caso, tal y como nos muestra la Tabla 66, las piezas podrían no ser factibles ya que estarían destinadas a un uso distinto.

5. Bibliografía.

1. Sánchez, S; Yáñez, I; Rodríguez, O. Moldeo por inyección de termoplásticos. México: Limusa, 2001.
2. Aranda Usón, A; Zabalza Bibrián, I. Ecodiseño y análisis de ciclo de vida. Universidad de Zaragoza, 2010.
3. Delgado Urrecho, J. Modelado y simulación del funcionamiento de la fresadora tipo A-16 de Nicolás Correa S.A. con Catia (2016). Trabajo de fin de grado. Valladolid, Escuela de Ingeniería Mecánica.
4. García Roig, Aitor. Análisis y mejora de procesos de trabajo mediante programas de mejora continua en una pyme de inyección de plásticos (2015). Trabajo de fin de grado. Valencia. ETSII.
5. Richarson, Terry L. Industria del plástico: plástico industrial. Madrid: Paraninfo, 2003.
6. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>
7. <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-1-el-cambio-climatico-y-los-acuerdos-internacionales/>
8. <http://www.expansion.com/blogs/cambioclimatico/2018/03/22/2017-mas-co2.html>
9. <https://www.prolim.com/2014/05/nx-9-system-requirements/>
10. https://www.plm.automation.siemens.com/es/products/solid-edge/design/system_requirements.shtml
11. <https://knowledge.autodesk.com/es/search-result/caas/sfdarticles/sfdarticles/ESP/System-requirements-for-Autodesk-Moldflow-Adviser-2016.html>
12. https://ultimaker.com/download/73560/180104-Ultimaker-CuraConnect-Manuals-%28EN%29_ES-v1.1.pdf
13. https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2017/11/openLCA1.7_User_Manual_v1.1.pdf
14. <https://www.raise3d.com/products/raise3d-n2-plus-fff-3d-printer>
15. <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-s5/specifications>
16. <http://impresorad3d.com/mejores-impresoras-3d-profesionales/>
17. <http://www.flashforge.com/guider-ii/>
18. <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>
19. <https://nexus.openlca.org/databases>
20. <https://www.repol.com/>
21. <http://ibermetal.es/>
22. <http://taulman3d.com/index.html>

23. <https://www.3dworks.cl/blog/porcentaje-de-relleno-en-impresi%C3%B3n-3d>
24. <https://knowledge.autodesk.com>
25. <http://www.interempresas.net>
26. <http://www.plastico.com>
27. <https://www.kraussmaffe.com>
28. <http://www.broanmainplastics.co.uk>
29. <http://www.mateusole.net>
30. <http://www.worldextruder.com>
31. <https://plaen.blogspot.com>
32. <http://www.recicladoplastico.com.ar>
33. <https://www.recytrans.com>
34. <https://www.quiminet.com>
35. <https://www.mecanizadossinc.com>
36. <https://www.sandvik.coromant.com>
37. Ginjaume Pujadas, Albert; Torre Crespo, Felipe. Ejecución de procesos de mecanizado, conformado y montaje. 2ª Edición. Ed. Paraninfo.
38. <https://www.ensingerplastics.com>
39. <https://www.inalcoa.net>
40. <http://www.imh.eus>
41. <http://mizaradditive.com>
42. <https://todopolimeros.wordpress.com>
43. <https://www.sobreplasticosymas.com>
44. <http://canviclimatic.gencat.cat>
45. <https://www.unoreciclaje.com/productos/bomatic/b400e/>
46. <https://www.ecoticias.com>
47. <http://zonaplastica.blogspot.com>
48. <http://www.sustentator.com>
49. Berners-Lee, Mike. How Bad Are Bananas?: The carbón footprint of everything. Ed: Profile Books, 2010.
50. Javier Castany, Francisco; Martínez, Arantza; Aisa, Jorge. Diseño y desarrollo de componentes plásticos inyectados (I): el material. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2013.
51. Brent Strong, A. Plastics: materials and processing. 2ª Edición. Prentice-Hall, 2000.
52. Llorente Díaz, Isabel María. Análisis del ciclo de vida de la ventana de madera (2011). Proyecto Fin de Carrera. Madrid, EUITF.
53. Alonso Alonso, Gonzalo. Inyección y diseño de una pieza plástica (2017). Trabajo Fin de Grado. Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales.
54. <https://www.setac.org/>

55. Norma UNE-EN ISO 14040.
56. Norma UNE-EN ISO 14044.
57. <https://www.dormerpramet.com>
58. High-performance milling tools. www.fraisa.com
59. <https://revistadigital.inesem.es/>
60. <https://www.ecointeligencia.com/>

6. Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1.Emisiiones CO2 . Fuente: Diario Expansión, blog "Cambio climático y economía" .	6
Ilustración 2. Cumbres sobre Cambio Climático. Fuente: www.energíaysociedad.es, ONU.	6
Ilustración 3. Esquema ACV de un producto. Fuente: www.ecointeligencia.com.....	9
Ilustración 4.Procesos de Fabricación. Fuente: IMH.....	11
Ilustración 5. Inyección. Fuente: www.todopolimeros.wordpress.com.....	14
Ilustración 6.Fuente propia: Sujeción Cónica.....	15
Ilustración 7. Fuente propia: Sujeción L.....	15
Ilustración 8. Fuente propia.	15
Ilustración 9. Operación 1 Sujeción L. Fuente propia.	20
Ilustración 10. Operación 2 Sujeción L. Fuente propia.	21
Ilustración 11. Operación 3 Sujeción L. Fuente propia.	21
Ilustración 12. Operación 4 Sujeción L. Fuente propia.	22
Ilustración 13. Operación 6 Sujeción L Fuente Propia.	22
Ilustración 14. Operación 7 Sujeción L. Fuente propia.	22
Ilustración 15. Impresión 3D. 1º capa y soporte Sujeción L. Fuente propia.	28
Ilustración 16. Impresión 3D Pieza Sujeción L. Fuente propia.	28
Ilustración 17. Impresión 3D. Ejemplo generación capa Sujeción L. Fuente propia.....	29
Ilustración 18. Impresión 3D. Ejemplo capa Sujeción L. Fuente propia.....	29
Ilustración 19. Impresión 3D. Vista patrón soporte Sujeción L. Fuente propia.	29
Ilustración 20. Indicador de resistencia de flujo. Sujeción L.	31
Ilustración 21. Molde inyección. Sujeción L. Fuente propia.	32
Ilustración 22.Sistema de alimentación vista 2. Sujeción L. Fuente propia.....	32
Ilustración 23.Sistema de alimentación vista 1. Sujeción L. Fuente propia.....	32
Ilustración 24. Sistema de refrigeración vista 1. Sujeción L. Fuente propia.	32
Ilustración 25. Sistema de refrigeración vista 2. Sujeción L. Fuente propia.	33
Ilustración 26. Sistema de refrigeración vista 3. Sujeción L. Fuente propia.	33
Ilustración 27. Desglose de tiempos inyección Sujeción L.	34
Ilustración 28. Pieza Sujeción L terminada. Fuente propia.....	37
Ilustración 29. Op. 1 Sujeción Cónica Fuente propia.....	38
Ilustración 30. Op. 2 Sujeción Cónica Fuente propia.....	38
Ilustración 31. Op. 3 Sujeción Cónica Fuente propia.....	39
Ilustración 32. Op. 4 Sujeción Cónica Fuente propia.....	39
Ilustración 33. Op. 6 Sujeción Cónica Fuente propia.....	40
Ilustración 34. Op. 8 Sujeción Cónica Fuente propia.....	41
Ilustración 35. Op. 9 Sujeción Cónica Fuente propia.....	41
Ilustración 36. Fresado de desbaste Sujeción Cónica.	42
Ilustración 37. Vista inferior. Sujeción Cónica Fuente propia.....	42
Ilustración 38. Ejemplo volumen limitante Impresión 3D. Fuente propia.....	46
Ilustración 39. Impresión 3D Sujeción Cónica. Fuente propia.	48
Ilustración 40. Impresión 3D. Estructura soporte Sujeción Cónica. Fuente propia.	49

Ilustración 41. Impresión 3D. Ejemplo capa Sujeción Cónica. Fuente propia.....	49
Ilustración 43. Impresión 3D 1º capa Sujeción Cónica. Fuente propia.	49
Ilustración 42. Impresión 3D. Ejemplo generación capa Sujeción Cónica. Fuente propia.....	49
Ilustración 44. Molde inyección. Sujeción Cónica. Fuente propia.	51
Ilustración 45. Indicador de resistencia de flujo. Sujeción Cónica. Fuente propia.	51
Ilustración 47. Sistema de alimentación vista 2. Sujeción Cónica. Fuente propia.....	52
Ilustración 46. Sistema de alimentación vista 1. Sujeción Cónica. Fuente propia.	52
Ilustración 48. Sistema de refrigeración vista 1. Sujeción Cónica. Fuente propia.	52
Ilustración 49. Sistema de refrigeración vista 2. Sujeción Cónica. Fuente propia.	52
Ilustración 50. Sistema de refrigeración vista 3. Sujeción Cónica. Fuente propia.	53
Ilustración 51. Desglose de tiempos inyección Sujeción Cónica.....	54
Ilustración 52. Pieza Sujeción Cónica terminada. Fuente propia.....	56
Ilustración 53. Entradas Mecanizado Sujeción L.....	59
Ilustración 54. Salidas Mecanizado Sujeción L.....	59
Ilustración 55. Diagrama de flujos Mecanizado Sujeción L.....	59
Ilustración 56. Diagrama de flujos Fabricación Aditiva Sujeción L.....	60
Ilustración 57. Entradas Fabricación Aditiva Sujeción L.....	60
Ilustración 58. Salidas Fabricación Aditiva Sujeción L.....	60
Ilustración 59. Salidas Inyección Sujeción L.	61
Ilustración 60. Entradas Inyección Sujeción L.	61
Ilustración 61. Diagrama de flujos Inyección Sujeción L.	61
Ilustración 62. Contribuciones CO2 Mecanizado Sujeción L Fuente propia.	62
Ilustración 63. Contribuciones CO2 Fabricación Aditiva Sujeción L. Fuente propia.	62
Ilustración 64. Contribuciones CO2 Inyección Sujeción L. Fuente propia.....	62
Ilustración 65. Salidas Mecanizado Sujeción Cónica.....	63
Ilustración 66. Entradas Mecanizado Sujeción Cónica.....	63
Ilustración 67. Diagrama de flujos Mecanizado Sujeción Cónica.....	63
Ilustración 68. Salidas Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.....	64
Ilustración 69. Entradas Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.....	64
Ilustración 70. Diagrama de flujos Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.....	64
Ilustración 71. Entradas Inyección Sujeción Cónica.	64
Ilustración 72. Salidas Inyección Sujeción Cónica.	64
Ilustración 73. Diagrama de flujos Inyección Sujeción Cónica.	64
Ilustración 74. Contribuciones CO2 Mecanizado Sujeción Cónica. Fuente propia.	65
Ilustración 75. Contribuciones CO2 Fabricación Aditiva Sujeción Cónica. Fuente propia.	65
Ilustración 76. Contribuciones CO2 Inyección Sujeción L. Fuente propia.....	65
Ilustración 77. Emisiones CO2 Procesos de Fabricación 1. Fuente propia.....	67
Ilustración 78. Emisiones CO2 Procesos de Fabricación 2. Fuente propia.....	67
Ilustración 79. Emisiones de CO2 Procesos de Fabricación 3. Fuente propia.....	68
Ilustración 80. Comparación de mejoras de mecanizado. Fuente propia.	70
Ilustración 81. Sujeción L modificada 2. Fuente propia.	71
Ilustración 82. Sujeción L modificada 1. Fuente propia.	71

Ilustración 84. Sujeción Cónica modificada 2. Fuente propia.	71
Ilustración 83. Sujeción Cónica modificada 1. Fuente propia.	71
Ilustración 85. Comparación de mejoras de inyección. Fuente propia.....	72
Ilustración 86. Etapas ACV. Fuente: UNE-EN ISO 14040.	85
Ilustración 87. Cierre de molde y comienzo de la inyección. Fuente 1.....	92
Ilustración 88. Inyección del material hacia el molde. Fuente1.	93
Ilustración 89. Aplicación de la presión de sostenimiento. Fuente 1.	93
Ilustración 90. Plastificación del material para la siguiente inyección. Fuente 1.	93
Ilustración 91. Enfriamiento y extracción de la pieza. Fuente 1.	94
Ilustración 92. Ejemplo ventana Autodesk Moldflow Adviser.	100
Ilustración 93. Ejemplo ventana Ultimaker Cura.	101
Ilustración 94. Ejemplo ventana OpenLCA.....	102
Ilustración 95. Ejemplo ventana SolidEdge.....	102
Ilustración 96. Ejemplo pantalla Siemens NX.....	103

7. Índice de Tablas.

Tabla 1. Geometría de la broca.....	12
Tabla 2. Diseño de herramienta de torneado.....	12
Tabla 3. Procesos de Fabricación Aditiva para plásticos.....	13
Tabla 4. Plástico en Ingeniería. Fuente 5.....	15
Tabla 5. Datos requeridos para determinar el tiempo de enfriamiento. Fuente 5.....	15
Tabla 6. Valores de contenido de calor para algunos termoplásticos. Fuente 5.....	15
Tabla 7. Parámetros Operación 1.....	20
Tabla 8. Parámetros Operación 2.....	21
Tabla 9. Parámetros Operación 3.....	21
Tabla 10. Parámetros Operación 6.....	22
Tabla 11. Parámetros Operación 8.....	23
Tabla 12. Parámetros Operación 9.....	23
Tabla 13. Consumo mecanizado Sujeción L.....	25
Tabla 14. Resumen mecanizado Sujeción L.....	25
Tabla 15. Ajustes impresión. Nylon. Sujeción L.....	26
Tabla 16. Impresión 3D. Calidad Sujeción L.....	27
Tabla 17. Impresión 3D. Perímetro Sujeción L.....	27
Tabla 18. Impresión 3D. Relleno Sujeción L.....	27
Tabla 19. Impresión 3D. Material Sujeción L.....	27
Tabla 20. Impresión 3D. Velocidad Sujeción L.....	27
Tabla 21. Impresión 3D. Desplazamiento Sujeción L.....	27
Tabla 22. Impresión 3D. Refrigeración Sujeción L.....	27
Tabla 23. Impresión 3D. Adherencia Sujeción L.....	28
Tabla 24. Impresión 3D. Soporte Sujeción L.....	28
Tabla 25. Impresión 3D. Resumen Ultimaker S5 Sujeción L.....	29
Tabla 26. Impresión 3D. Resumen Raise 3D n2 plus single Sujeción L.....	30
Tabla 27. Impresión 3D. Resultados Sujeción L.....	30
Tabla 28. Resultados Moldflow inyección Sujeción L.....	34
Tabla 29. Resultados Inyección Sujeción L.....	37
Tabla 30. Parámetros Op. 1 Cónica.....	38
Tabla 31. Parámetros Op. 2 Cónica.....	38
Tabla 32. Parámetros Op. 3 Cónica.....	39
Tabla 33. Parámetros Op. 4 Cónica.....	39
Tabla 34. Parámetros Op. 6 Cónica.....	40
Tabla 35. Parámetros Op. 7 Cónica.....	40
Tabla 36. Parámetros Op. 8 Cónica.....	41
Tabla 37. Parámetros Op. 9 Cónica.....	41
Tabla 38. Resumen fresado Sujeción Cónica.....	43
Tabla 39. Consumo mecanizado Sujeción Cónica.....	45
Tabla 40. Resumen mecanizado Sujeción Cónica.....	45

Tabla 41. Ajustes impresión. Nylon. Sujeción Cónica.	46
Tabla 42. Impresión 3D. Calidad Sujeción Cónica.	47
Tabla 43. Impresión 3D. Perímetro Sujeción Cónica.	47
Tabla 44. Impresión 3D. Relleno Sujeción Cónica.	47
Tabla 45. Impresión 3D. Material Sujeción Cónica.	47
Tabla 46. Impresión 3D. Velocidad Sujeción Cónica.	47
Tabla 47. Impresión 3D. Desplazamiento Sujeción Cónica.	47
Tabla 48. Impresión 3D. Refrigeración Sujeción Cónica.	48
Tabla 49. Impresión 3D. Soporte Sujeción Cónica.	48
Tabla 50. Impresión 3D. Adherencia Sujeción Cónica.	48
Tabla 51. Impresión 3D Ultimaker S5 Sujeción Cónica.	48
Tabla 52. Impresión 3D. Resumen Raise 3D n2 plus single Sujeción Cónica.	50
Tabla 53. Impresión 3D. Resultados Sujeción Cónica.	50
Tabla 54. Resultados Moldfloe inyección Sujeción Cónica.	53
Tabla 55. Resultados Inyección Sujeción Cónica.	56
Tabla 56. Emisiones CO2 de los procesos de fabricación. Sujeción L.	61
Tabla 57. Emisiones CO2 de los procesos de fabricación. Sujeción Cónica.	65
Tabla 58. Resultados comparación Sujeción L.	66
Tabla 59. Resultados comparación Sujeción Cónica.	66
Tabla 60. Datos teóricos de emisiones.	66
Tabla 61. Características de máquinas de reciclado.	69
Tabla 62. Parámetros del proceso de mecanizado con reciclaje.	70
Tabla 63. Emisiones proceso de mejora Mecanizado.	70
Tabla 64. Parámetros del proceso de inyección con rediseño.	72
Tabla 65. Emisiones proceso de mejora Inyección.	72
Tabla 66. Porcentajes de relleno según usos. Fuente 23.	73
Tabla 67. Parámetros mejoras Impresión 3D Sujeción Cónica.	73
Tabla 68. Parámetros mejoras Impresión 3D Sujeción L.	73
Tabla 69. Emisiones proceso de mejora de impresión 3D.	73
Tabla 70. Comparación mejoras Impresión 3D. Fuente propia.	74
Tabla 71. Categorías de impacto metodología CML. Fuente: OpenLCA.	86
Tabla 72. Otros software para ACV.	91
Tabla 73. Valores Categorías de impacto Mecanizado Sujeción L.	108
Tabla 74. Valores Categorías de impacto Fabricación Aditiva Sujeción L.	108
Tabla 75. Valores Categorías de impacto Inyección Sujeción L.	108
Tabla 76. Valores Categorías de impacto Mecanizado Sujeción Cónica.	109
Tabla 77. Valores Categorías de impacto Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.	109
Tabla 78. Valores Categorías de impacto Inyección Sujeción Cónica.	109

8. Anexos.

8.1. Anexo I: Análisis de Ciclo de Vida.

En este anexo se explican de forma más concreta las distintas fases de un Análisis de Ciclo de Vida, y se detallan distintos tipos de metodologías, bases de datos y software que se pueden encontrar, según lo reflejado en la Norma UNE-EN ISO 14040.(55) y en la Norma UNE-EN ISO 14044.(56).

Etapas de desarrollo de un ACV.

Etapa 1: Definición del Objetivo y Alcance del ACV.

La definición del objetivo se basa en exponer los motivos por los cuales se realiza el estudio, y el alcance especifica la amplitud, profundidad y detalle del estudio.

Definición del objetivo: Debe ser clara y coherente con la aplicación que tenga el estudio y debe incluir:

- Identificación del realizador.
- Razones para realizar el estudio.
- Razones para realizar el estudio y tipo de información esperada.
- Aplicación prevista y uso de los resultados obtenidos.
- Destinatario previsto del estudio.
- Si es necesario, el uso del Análisis de Ciclo de Vida en comparaciones.

Definición del alcance: Se debe reflejar claramente la extensión del estudio, describiendo los siguientes puntos:

- Sistema de producto a estudiar.
- Funciones del sistema del producto.
- Selección de la unidad funcional.
- Establecimiento de los límites del sistema.
- Establecimiento de las reglas de asignación de cargas ambientales, tipos de impactos evaluados y metodología.
- Tipos y fuentes de datos.
- Requisitos de calidad de los datos.

Etapa 2: Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.

Dentro de esta etapa se cuantifican las entradas y salidas del sistema en estudio, incluyendo el uso de recursos, las emisiones a la atmósfera, los vertidos a aguas y suelo y la generación de residuos. A su vez en el inventario deben de constar:

- Diagramas de flujo.
- Descripción detallada de cada unidad de proceso.
- Desarrollo de una lista de cada unidad de proceso.
- Descripción de los métodos empleados para recoger los datos y de las técnicas de cálculo empleadas.
- Informar de las fuentes documentales u otras circunstancias asociadas con la recogida de datos.

Etapa 3: Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).

En esta etapa se relacionan los resultados del Análisis de Inventario con los efectos ambientales a los que dan lugar.

La EICV presenta cuatro elementos fundamentales:

- Selección de las categorías de impacto.
- Clasificación: asignación de los resultados del Impacto del Ciclo de Vida.
- Caracterización: cálculo de resultados del indicador de categoría.
- Normalización: cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría con respecto a cierta información de referencia.

Etapa 4: Interpretación del Análisis de Ciclo de Vida.

Es la combinación de los resultados de la segunda y la tercera etapa, proporcionándose resultados adecuados al objetivo y al alcance. La fase de interpretación comprende:

- Identificación de aspectos significativos.
- Evaluación de los análisis.
- Conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

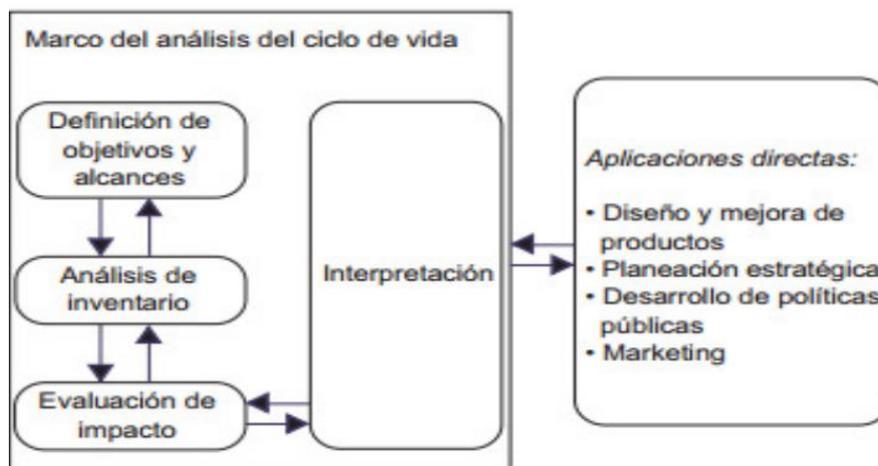


Ilustración 86. Etapas ACV. Fuente: UNE-EN ISO 14040.

Tipos de metodologías – Métodos de evaluación de impactos.

CML.

El método empleado en este estudio es CML. Este método fue creado por la Universidad de Leiden en Holanda en 2001, contiene más de 1700 flujos diferentes y puede ser descargado desde su página web. El método se divide en “baseline” y “non-baseline”. El método “baseline” es con el que se realiza este estudio y presenta 11 tipos de impactos distintos, el método “non-baseline” incluye otras categorías de impacto y variaciones de las presentes en la versión anterior.

Las categorías de impacto del método CML (baseline) son:

CML (baseline)	
Grupo de categoría de impacto	Nombre de la categoría de impacto en el método
Acidificación	Acidification potencial – average Europe
Cambio climático	Climate change – GWP100
Agotamiento de recursos abióticos	Depletion of abiotic resources – elements, ultimate reserves
	Depletion of abiotic resources – fossil fuels
Ecotoxicidad	Freshwater aquatic ecotoxicity – FAETP inf
	Marine aquatic ecotoxicity – MAETP inf
	Terrestrial ecotoxicity – TETP inf
Eutrofización	Eutrophication – generic
Toxicidad humana	Human toxicity – HTP inf
Reducción de la capa de ozono	Ozone layer depletion – ODP steady state
Formación de oxidantes fotoquímicos.	Photochemical oxidation – high Nox

Tabla 71. Categorías de impacto metodología CML. Fuente: OpenLCA.

Cumulative Energy Demand.

El método Cumulative Energy Demand (CED) para openLCA se creó basado en el método publicado por ecoinvent centre. Sin embargo, la existencia de flujos elementales de diferentes bases de datos en openLCA requiere una extensión de la lista de factores de caracterización de ecoinvent.

El objetivo del método es cuantificar el uso de energía primaria a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio. El método incluye los usos directos e indirectos de la energía, pero no los desechos utilizados con fines energéticos.

El valor calorífico bruto (GCV) de los diferentes combustibles y materiales se usa para determinar los factores de caracterización. El método CED está estructurado en ocho categorías de impacto diferentes, no se incluyen datos de normalización o ponderación en el método.

Eco-indicator 99.

El Ecoindicador 99 es uno de los métodos de evaluación de impacto más utilizados en el análisis de ciclo de vida. Este método reemplaza al Ecoindicador 95, el primer método de evaluación de punto final, que permitió la expresión del impacto ambiental en un solo valor.

Este método analiza tres tipos diferentes de daños: la salud humana, la calidad del ecosistema y los recursos. Un aspecto relevante sobre el Ecoindicador 99 es que la unidad estándar dada en todas las categorías es point (Pt) o milipoint (mPt). Dado que el objetivo de este método es la comparación de productos o componentes, el valor en sí no es relevante, sino más bien una comparación de valores.

El método distingue tres perspectivas diferentes que implican distintas suposiciones:

- Perspectiva Jerárquica (H).
- Perspectiva Igualitaria (E).
- Perspectiva Individualista (I).

Ecological Scarcity Method 2006.

El Ecological Scarcity Method (Método de Escasez Ecológica), calcula los impactos ambientales como emisiones contaminantes y el consumo de recursos mediante la aplicación de “eco-factores”.

Estos eco-factores son diferentes según la sustancia y se derivan de leyes ambientales u otros objetivos políticos. Cuanto más exceden el nivel de emisiones o el consumo de recursos el objetivo de protección ambiental, mayor es el factor ecológico, expresado en eco-puntos (EP). De igual forma que el Ecoindicador 99, el objetivo principal de este método es comparar productos y mejorar procesos y/o productos.

ILCD 2011.

ILCD significa Sistema Internacional de Datos de Ciclo de Vida de Referencia, y es el resultado de un proyecto realizado por el Centro Común de Investigación (Joint Research Centre) de la Comisión Europea que analizó varias metodologías de evaluación de impacto del ciclo de vida para llegar a un consenso sobre el método recomendado para cada tema ambiental, tanto en el punto medio como en el punto final.

Los distintos grupos de categorías de impacto son: acidificación, cambio climático, agotamiento de recursos abióticos, ecotoxicidad, eutrofización, toxicidad humana, radiación ionizante, uso de tierra, reducción de la capa de ozono, materia de partículas y oxidación fotoquímica. A su vez las categorías intermedias de puntos finales se han agrupado en las tres áreas de protección: salud humana, agotamiento de recursos y ecosistemas.

ReCiPe.

El objetivo principal del método ReCiPe es proporcionar un método que combine los métodos Ecoindicador 99 y CML, en una versión actualizada.

ReCiPe distingue dos tipos de indicadores:

- Indicadores de punto medio.
- Indicadores finales con las siguientes categorías: daños a la salud humana, daños a los ecosistemas y daños a la disponibilidad de recursos.

TRACI 2.1

La EPA (United States Environmental Protection Agency) ha desarrollado TRACI, cuya traducción es Herramienta para la Reducción y Evaluación de Impactos Químicos y otros Impactos Ambientales, para ayudar en la evaluación de impacto para Métricas de Sustentabilidad, Evaluación del Ciclo de Vida, Ecología Industrial, Diseño de Procesos y Prevención de la Contaminación.

Las metodologías se desarrollan específicamente para los Estados Unidos utilizando parámetros de entrada consistentes con las situaciones de EE.UU. para las siguientes categorías de impacto: acidificación, ecotoxicidad, eutrofización, cambio climático, toxicidad humana (criterios de contaminantes atmosféricos; cancerígenos; no cancerígenos), reducción de la capa de ozono, oxidación fotoquímica y reducción de recursos.

USEtox.

USEtox es un método para calcular el impacto ambiental basado en el consenso científico, para identificar y obtener los valores de impacto humano y ecotoxicológico de los productos químicos, en la evaluación del impacto del ciclo de vida.

El resultado principal incluye una base de datos de factores de caracterización recomendados e intermedios, que incluyen el destino ambiental, la exposición y los parámetros de efecto para la toxicidad humana y la ecotoxicidad.

Bases de datos.

Dentro de todas las posibles bases de datos existentes en el mercado, se pueden señalar las descritas a continuación ya que son las de un uso más común, o debido a que se tratan de bases de datos gratuitas.

Ecoinvent.

Se trata de una base de datos desarrollada por parte del centro ecoinvent. Ecoinvent 3.4, es la cuarta actualización de la versión 3 de ecoinvent, incluye más de mil conjuntos de datos nuevos y actualizados. Los nuevos datos abarcan:

- actualizaciones de los mercados eléctricos para modelos de sistemas tanto de atribuciones como de consecuencias.
- partición del sector eléctrico por estado y red para la India.
- datos nuevos y actualizados para las cadenas de suministro europeas de gas natural.
- datos nuevos y actualizados para productos químicos.
- actividades para el reciclado de PE y PET.

IDEA.

IDEA v2 (Inventory Database for Environmental Analysis, por sus siglas en inglés), es una base de datos de inventario híbrida que presenta tanto datos estadísticos, como basados en procesos.

Cubre de manera exhaustiva casi todas las actividades económicas en Japón, y contienen aproximadamente 3800 procesos que se clasifican según el Japan Standard Commodity Classification. IDEA v2 se proporciona como un conjunto de datos de procesos unitarios interconectados y muy transparentes.

Exiobase

EXIOBASE es una base de datos global y detallada de forma multirregional de suministro y uso medioambiental de entradas y salidas. Se desarrolló armonizando y detallando el suministro y el uso para un gran número de países, estimando las emisiones y las extracciones de recursos por industria, conectándolas por países de forma comercial y produciendo entradas y salidas a partir de estas.

Agribalyse

Es una base de datos de ACV de los principales productos agrícolas franceses, proporcionada por la Agencia Francesa de Gestión del Medio Ambiente y la Energía (ADEME) como resultado del programa Agribalyse®.

Incluye procesos agregados y unitarios. La última versión, Agribalyse v.1.3, se debe conectar a los conjuntos de datos “ecoinvent v.3.2”.

NEEDS.

Base de datos creada por el proyecto NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability, por sus siglas en inglés): inventarios del Ciclo de Vida del futuro suministro eléctrico de la electricidad en Europa. Contiene datos industriales de ACV sobre servicios de transporte futuro, electricidad y suministro de materiales.

ELCD.

Base de datos europea de referencia del Centro Común de Investigación (Joint Research Centre, JRC). Su versión 3.2 data de octubre de 2015. Para su uso con el software OpenLCA, el propio programa la proporciona con una corrección de los errores en la base de datos original proporcionada por el JRC, con flujos elementales trazados en la lista de referencia de openLCA y con algunas refactorizaciones realizadas en las categorías.

Bioenergiedat.

Incluye procesos para cadenas de suministro de bioingeniería, desarrollados en el contexto del proyecto de investigación alemán BioEnergieDat, con el apoyo del Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear.

USDA.

La base de datos de ACV contiene conjuntos de datos de proceso de la unidad de producción agrícola de los EE.UU., representando los promedios para nueve cultivos básicos, según encuestas del Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas del Departamento de Agricultura de los EE.UU.

Su uso mediante el software openLCA es posible gracias a un acuerdo de cooperación entre el USDA y GreenDelta. La versión disponible es la “USDA crop data v1.1”.

Otros programas informáticos disponibles.

Además del software OpenLCA, que es el utilizado en este proyecto, se pueden encontrar otros software presentes en el mercado como los mostrados en la Tabla 72, que ha sido realizada a partir de la información encontrada en: Aranda Usón, A; Zabalza Bibrián, I. Ecodiseño y análisis de ciclo de vida. Universidad de Zaragoza, 2010. (2) y en <https://revistadigital.inesem.es/> (59).

Software	Compañía	País	Observaciones	Contacto
Gabi	Stuttgart University	Alemania	Además de las herramientas convencionales de un ACV, este programa ofrece un análisis económico.	www.gabi-software.com
Simapro	Pré Consultants	Países Bajos	Compara y analiza complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos. Presenta completas y variadas bases de datos.	www.pre.nl
Boustead	Bousted Consulting	Reino Unido	Enfocado para su aplicación en la industria química, plásticos, acero, etc.	www.boustead-consulting.co.uk
LCAit	Chalmers Industriteknik.	Suecia	Su aplicación principal es en sector de envases y productos de papel.	www.ekologik.cit.chalmers.se
Euklid	Fraunhofer-Institut	Alemania	Se trata de un programa orientado a productos industriales.	www.ivv.fhg.de
KCL Eco	Finnish Pulp and Paper Research Institute	Finlandia	Destaca por sus datos para la industria papelera.	www.kcl.fi/eco
Wisard	Pricewaterhouse Coopers	Francia	Análisis del impacto económico y ambiental del residuo sólido municipal.	www.pwcglobal.com
Umberto	Ifeu-Institut	Alemania	Las librerías de datos son complejas y flexibles. Preparación de ACV, ecobalances empresariales.	www.umberto.de
Team	Ecobilan	Francia	Muy completo, su base de datos incluye más de 500 módulos de diferentes sectores. Permite introducir información relativa a costes.	ecobilan.pwc.fr
Eco-it	Pré Consultants	Países Bajos	Especialmente indicado para diseñadores de productos y envases. Presenta un manejo sencillo.	www.pre.nl

Tabla 72. Otros software para ACV.

8.2. Anexo II: Proceso de Inyección.

El principio básico del moldeo por inyección comprende tres operaciones básicas:

- Elevar la temperatura del plástico hasta que pueda fluir bajo la aplicación de presión. Esto se hace calentando y masticando los gránulos sólidos (granza) mediante un tornillo hasta formar una masa fundida con una viscosidad y temperatura uniforme. Es decir, el tornillo transporta, mezcla y plastifica el material.
- Permitir la solidificación del material en el molde cerrado. Con el material ya plastificado dentro del cilindro de la máquina, se inyecta a través de una boquilla a través de canales hasta la cavidad del molde de la pieza.
- Apertura del molde para la extracción de la pieza. Esta operación se realiza una vez el material ya ha sido compactada y se ha enfriado hasta permitir solidificar el material en la forma deseada.

A partir de estas operaciones básicas se desarrolla el ciclo de inyección para la producción de una pieza que está formado por las siguientes fases (1):

- Se cierra el molde vacío, una vez la cantidad de material fundido que se va a inyectar dentro del molde ya está lista.
- Se inyecta el material mediante el tornillo, que en este caso no gira y actúa como pistón haciendo que el material pase a través de la boquilla hasta las cavidades del molde.

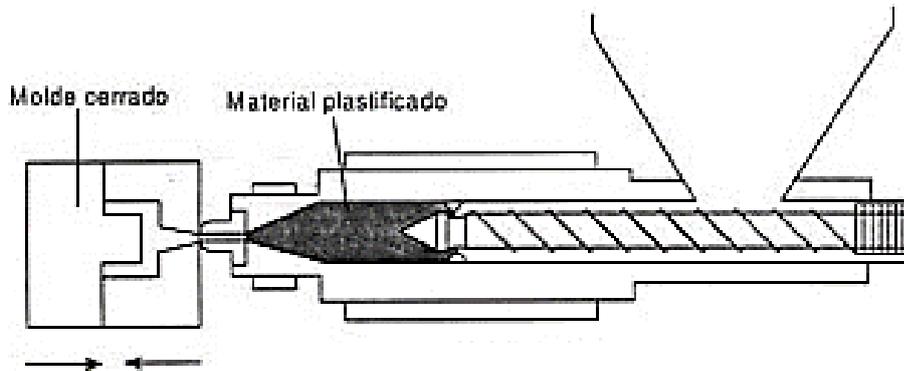


Ilustración 87. Cierre de molde y comienzo de la inyección. Fuente 1.

- Con el material ya inyectado se mantiene la presión sobre este antes de que solidifique para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento. Esta presión es inferior al valor alcanzado en la inyección y se conoce como pospresión y se mantiene hasta que el material comienza a solidificar.

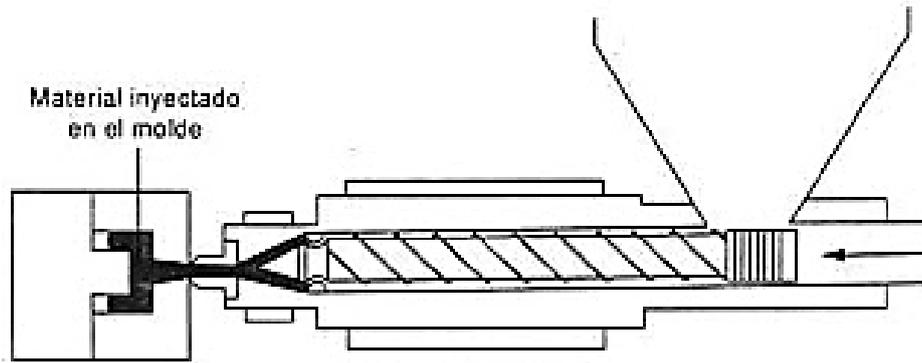


Ilustración 88. Inyección del material hacia el molde. Fuente1.

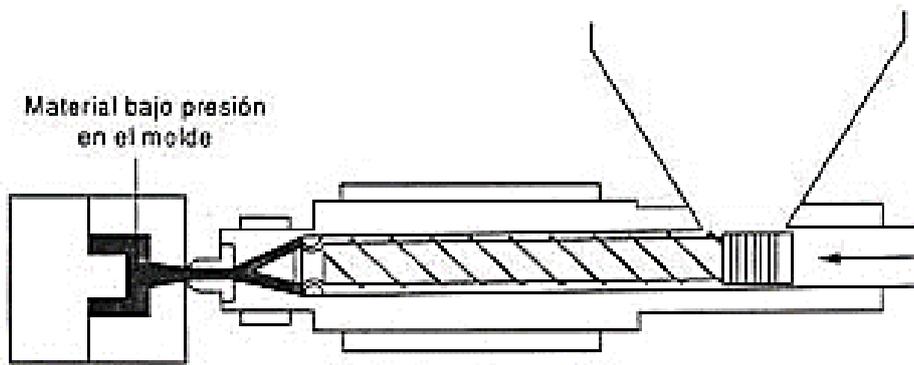


Ilustración 89. Aplicación de la presión de sostenimiento. Fuente 1.

4. Se inicia el giro del tornillo tomando materia prima en forma de gránulos de la tolva y los funde con el calor generado por la fricción al girar el tornillo y el suministrado por las bandas calefactoras. El material se dirige hasta la parte delantera comenzando a desarrollar presión contra la boquilla hasta acumular en la parte delantera el material fundido necesario para la siguiente inyección.

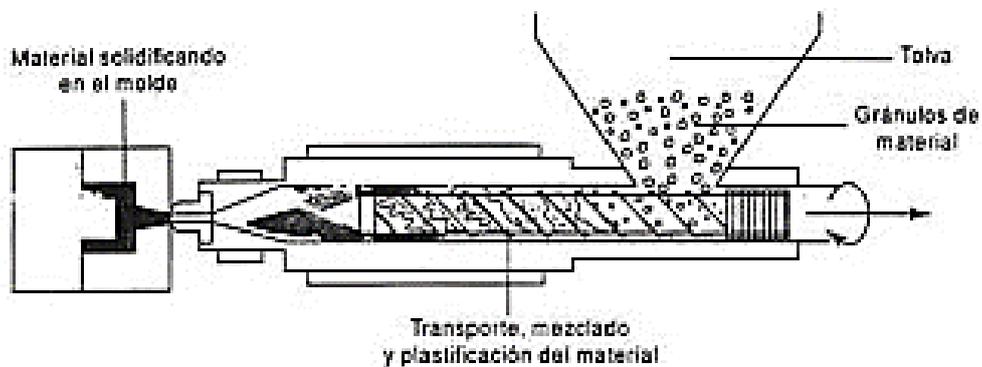


Ilustración 90. Plastificación del material para la siguiente inyección. Fuente 1.

5. El material que se encuentra dentro de las cavidades del molde continua enfriándose transfiriendo el calor hacía el molde de donde se disipa gracias al sistema de refrigeración. Dependiendo del espesor de la pieza el tiempo de enfriamiento será mayor o menor. Cuando la pieza alcanza la temperatura de expulsión el molde se abre y el mecanismo de expulsión extrae la pieza.

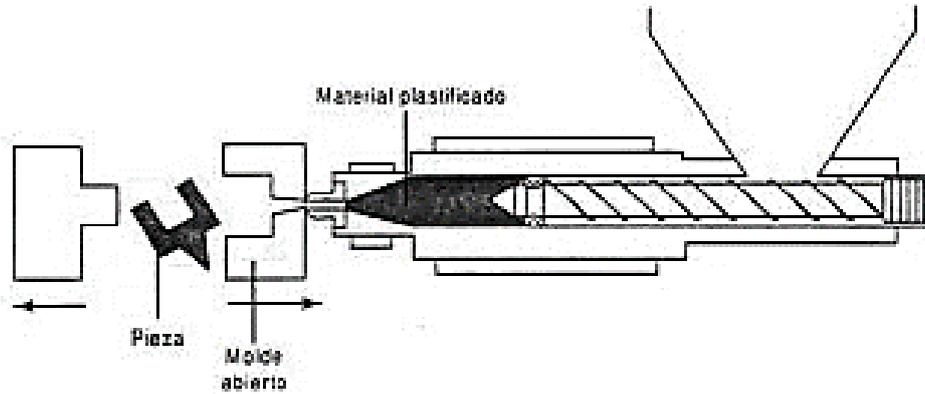


Ilustración 91. Enfriamiento y extracción de la pieza. Fuente 1.

6. El molde se cierra y el ciclo se repite.

8.3. Anexo III: Hojas de procesos.

Sujeción Cónica:

M-H CNC

Utillaje: Plato 3G autocentrante (UTILL1), sujeción por extremos diámetro barra.

Op1: Refrentado sup 1.

Op2: Desbaste sup 2.

Op3: Acabado sup 2.

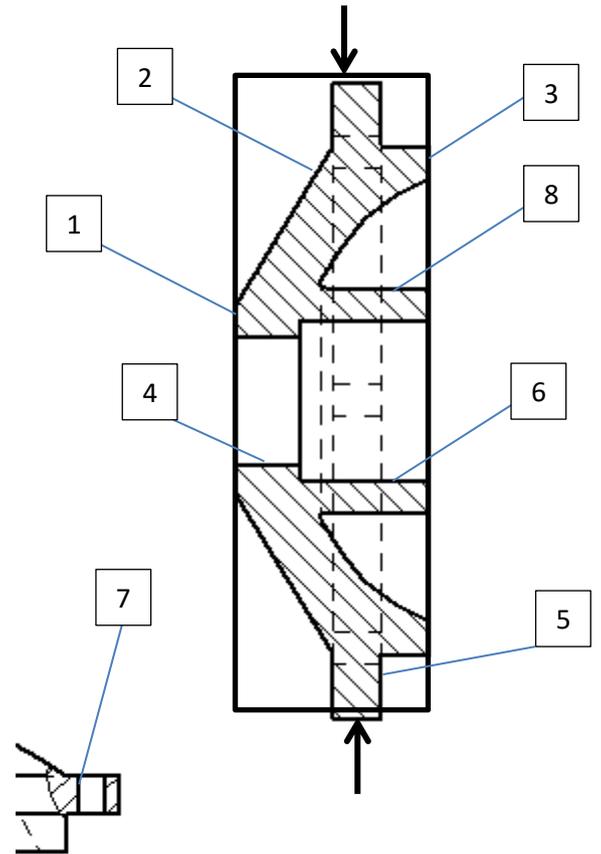
Op4: Taladro sup 7 con Broca $\varnothing 10\text{mm}$.

Op5: Taladrado sup 4 con Broca $\varnothing 40\text{mm}$.

Op6: Refrentado cara interior sup 3

Op7: Acabado sup 5.

Op8: Acabado sup 8.



Sujeción L:

M-H CNC

Utillaje: Plato 3G autocentrante (UTILL1), sujeción por extremos.

Op1: Refrentado sup 1.

Op2: Desbaste sup 2.

Op3: Acabado sup 2.

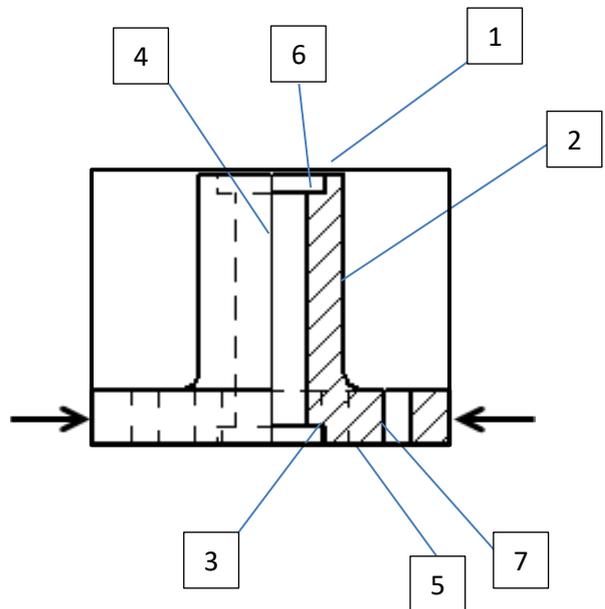
Op4: Taladro sup 7 con Broca $\varnothing 15\text{mm}$.

Op5: Taladrado sup 4.

Op6: Acabado interior sup 6.

Op7: Refrentado cara posterior sup 5.

Op8: Acabado interior sup 3.



8.4. Anexo IV: Elección del material.

A la hora de escoger el material a partir del cual se van a realizar los tres procesos de fabricación (mecanizado, fabricación aditiva mediante deposición de material fundido e inyección), se ha tenido en cuenta tanto el rango de materiales con el que se puede trabajar dentro de cada proceso, así como las características que imposibilitan que un material que es factible dentro de un proceso lo sea factible en otro.

En cuanto al proceso de mecanizado, lo más importante es que el material aguante las temperaturas que se producen debido al arranque de viruta. Dentro de este proceso existe la posibilidad de usar distintos materiales, desde metales a madera o a plásticos con una temperatura de fusión relativamente elevada para su rango y que presenten una buena resistencia.

Para el proceso de inyección lo más extendido es el uso de plásticos, en concreto el uso de termoplásticos que facilita el proceso así como la reutilización de los desechos tales como los canales de alimentación.

Dentro de los procesos posibles por fabricación aditiva, a la par que existe un comienzo en la investigación y el desarrollo para el uso de los metales, lo que está más extendido dentro del proceso de impresión 3D mediante la deposición de material fundido que es el proceso que se analiza es el uso de plásticos encontrándose materiales como el ABS y el PLA, apareciendo en los últimos años el nylon que presenta mejores características.

Por todos estos casos se deducen las características del material de uso en los tres procesos, un plástico que sea termoestable y que a su vez presente una temperatura de fusión lo suficientemente alta para que en el proceso de mecanizado no produzca problemas por la fusión del material debido al calentamiento, lo que excluye tanto el PLA como el PET, y que necesitan presentar una buena resistencia.

Debido a estos factores, la elección definitiva del material se trata del nylon PA6 ya que su uso está extendido dentro de la inyección y presenta unas características aceptables para el proceso de mecanizado, también se ha comenzado a aumentar su uso desde hace unos años en la impresión 3D por sus buenos parámetros de resistencia. Dentro de los factores que se han tenido en cuenta para realizar esta elección, no se encuentra el posible coste asociado al material, ya que no es ámbito de este proyecto.

8.5. Anexo V: Dimensiones comerciales de materia prima.



POLIAMIDA 6 / NYLON 6 / Barra



BARRAS POLIAMIDA 6 / NYLON 6

Diámetros	Tolerancia en + (m/m)		Pesos Kg/mt.
5	0,1	0,4	0,025
6	0,1	0,4	0,035
8	0,1	0,6	0,063
10	0,1	0,6	0,096
12	0,2	0,7	0,141
14	0,2	0,7	0,19
15	0,2	0,7	0,217
16	0,2	0,7	0,246
18	0,2	0,7	0,309
20	0,2	0,7	0,38
22	0,2	0,9	0,402
25	0,2	0,9	0,595
28	0,2	0,9	0,74
30	0,2	0,9	0,86
32	0,2	1,1	0,97
36	0,2	1,1	1,22
40	0,2	1,1	1,5
45	0,3	1,3	1,91
50	0,3	1,3	2,35
55	0,3	1,3	2,93
60	0,3	1,6	3,38
65	0,3	1,3	3,95
70	0,3	1,3	4,57
75	0,4	2	5,28



80	0,4	2	5,99
85	0,5	2,2	6,78
90	0,5	2,2	7,58
95	0,6	2,5	8,47
100	0,6	2,5	9,37
110	0,7	3	11,35
120	0,8	3,5	13,55
125	0,8	3,5	14,7
130	0,9	3,8	15,9
140	0,9	3,8	18,4
150	1	4,2	21,15
160	1,1	4,5	24,1
170	1,2	5	27,25
180	1,2	5	30,45
190	1,3	5,5	34
200	1,3	5,5	37,6
220	1,3	5,8	45,4
250	1,5	6,2	58,55
280	1,6	6,5	73,3
300	1,7	7	84,2

TOLERANCIAS SEGUN NORMAS DIN 16980

A su vez, se puede observar que existe una gran variedad de tipos de granza de nylon PA6 presentes en el mercado. Como ejemplo, la empresa Grupo Repol presenta una amplia gama de distintas granzas según su color o sus componentes, de entre su gama sirven de ejemplo:

- B1S25 B30 UV-9242. PA6 Dinalon, 30% Microesferas, Estabilizado a UV, Blanco
- B1S25 B30-0018. PA6 Dinalon, 30% Microesferas, Natural
- B1S25 B7-0018. PA6 Dinalon, 7% Microesferas, Natural
- B1S25 DI-4109. PA6 Dinalon, Impacto mejorado, Negro
- B1S25 DI-7189. PA6 Dinalon, Impacto mejorado, Gris
- B1S25 DI-9178. PA6 Dinalon, Impacto mejorado, Blanco

Para las bobinas de nylon PA6 necesarias en el proceso de impresión 3D, también existe una gran cantidad de proveedores y una amplia gama según su longitud, grosor o aditivos que presente el hilo de material. Entre los filamentos de nylon presentes destaca la empresa Taulman 3D por la amplia variedad que presenta.

8.6. Anexo VI: Proceso de uso de los programas.

En los siguientes puntos se expone de forma esquemática el orden que debe seguirse para un correcto uso de los distintos programas utilizados:

Autodesk Moldflow Adviser 2016.

1. Crear nuevo proyecto.
2. Importar modelo de pieza.
3. Realizar análisis de inyección de entradas.
4. Establecer puntos de inyección.
5. Definir el material de inyección.
6. Pasar a opción “una sola cavidad”.
7. Definir plano de partición y tamaño de molde dentro del aparato “Geometry”.
8. Definir sistema de alimentación.
9. Definir sistema de refrigeración.
10. Analizar ventana de proceso.
11. Realizar los distintos análisis y obtener los resultados.

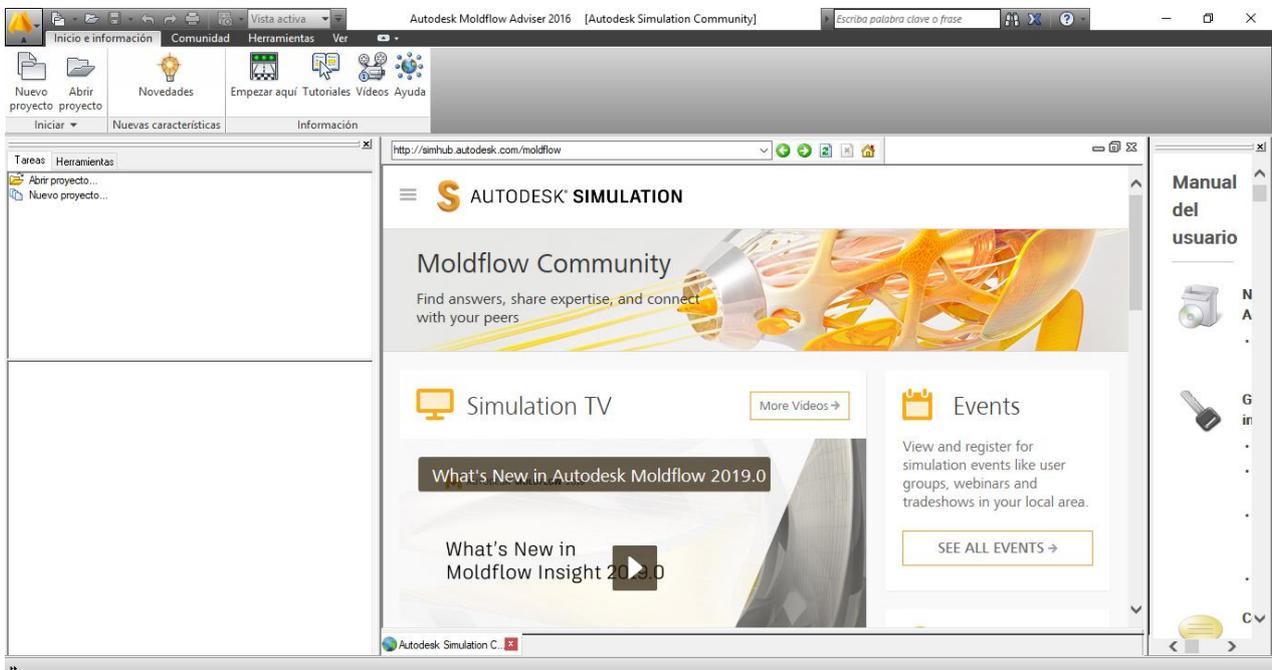


Ilustración 92. Ejemplo ventana Autodesk Moldflow Adviser.

Ultimaker Cura 3.3.1.

1. Archivo nuevo proyecto.
2. Ajustes, agregar impresora.
3. Ajustes, agregar material.
4. Importar modelo de pieza.
5. Definir parámetros de proceso.
6. Análisis del proceso.
7. Cambio a “Vista por capas”.
8. Obtención de resultados y documentación gráfica.

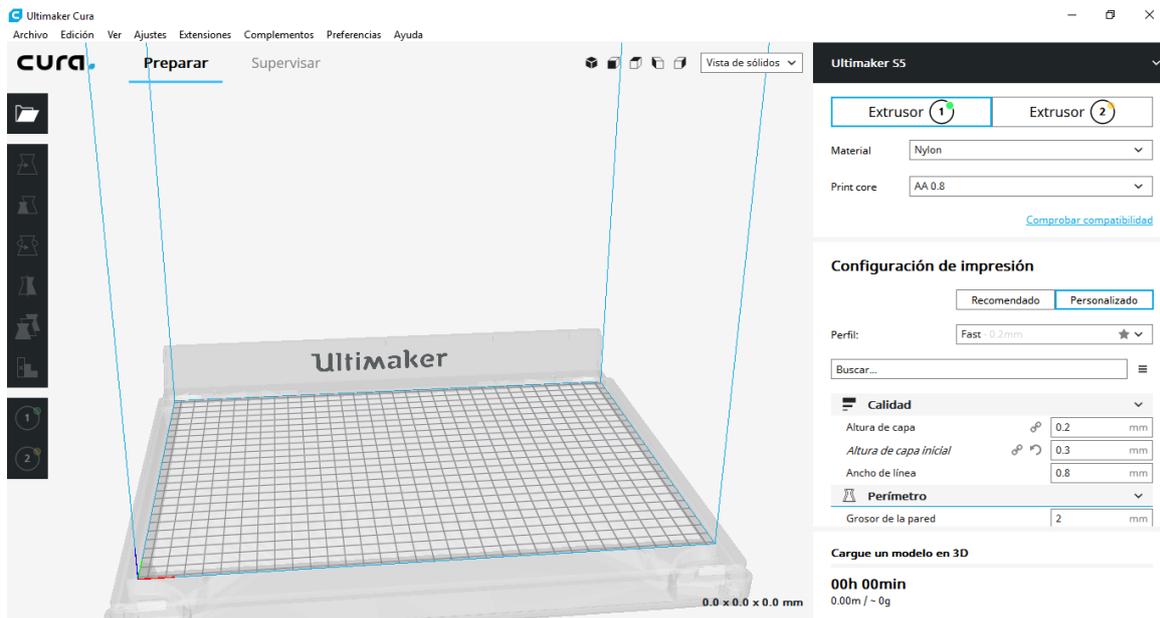


Ilustración 93. Ejemplo ventana Ultimaker Cura.

OpenLCA 1.7.0.

Descarga tanto de bases de datos a utilizar, como los distintos paquetes de métodos de Evaluación de Impacto Ambiental que se vayan a usar. Una vez descargados se procede a realizar los distintos pasos para el análisis.

1. Crear flujo de entrada.
2. Crear nuevo proceso, asociado al flujo de entrada anterior.
3. Incluir entradas y salidas dentro del proceso y la cantidad en la que estas se producen dentro de la ventana inputs / outputs.
4. Crear Product System asociado al proceso y asociar dentro de la pestaña “Model Graph” tanto los proveedores como los receptores de las entradas y salidas definidas anteriormente.

5. Se crea un nuevo proyecto dentro del cual se seleccionan las categorías de impacto que se quieren analizar, dentro de este apartado también se pueden crear proyectos para comparar distintos procesos o cambiar los parámetros de las cantidades.
6. Obtener y analizar los resultados.

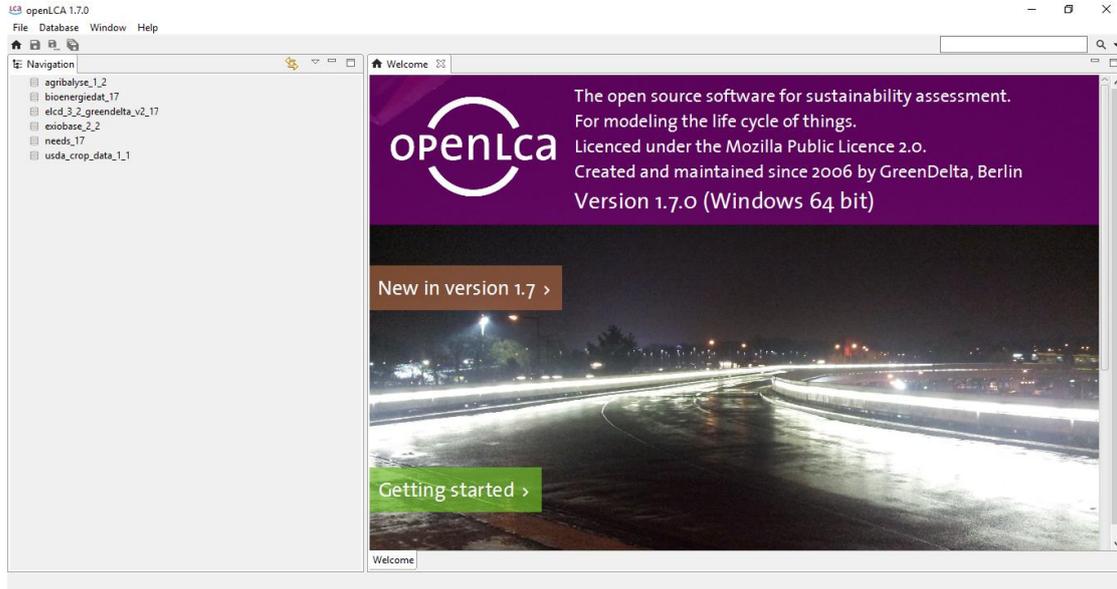


Ilustración 94. Ejemplo ventana OpenLCA.

SolidEdge ST8.

El uso del programa SolidEdge comienza con la creación de una nueva “ISO métrico pieza” en este caso, y dentro de la cual se realizan las distintas operaciones para la geometría de la pieza mediante los elementos que se encuentran en las pestañas superiores.

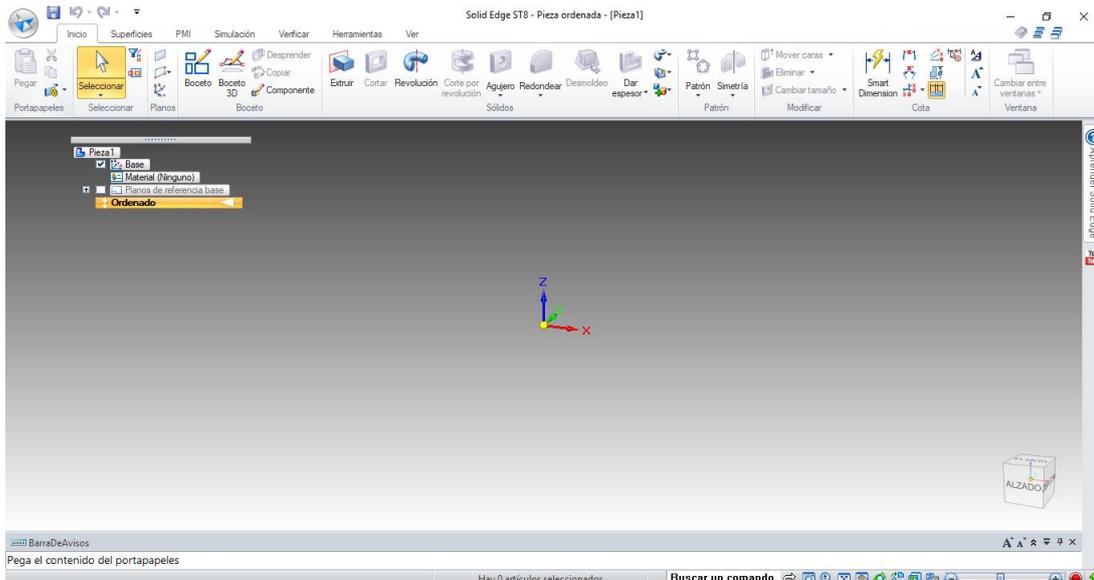


Ilustración 95. Ejemplo ventana SolidEdge.

- Extrusión de un círculo para crear la geometría con la que trabajar.
- Corte por revolución para definir el perfil de la pieza.
- Vaciado para crear un agujero.
- Patrón con la operación anterior para conseguir todos los agujeros.
- Realizar redondeos necesarios.
- Definir el material dentro de la opción Verificar, en Propiedades.

Siemens NX 9.0.

- Asegurarse de que se ha detectado la licencia, en caso contrario, dentro de Archivo ir a Utilidades y seleccionar los paquetes necesarios.
- Abrir pieza diseñada con SolidEdge que ha tenido que ser guardada en formato .stp para que sea compatible.
- Después, en Archivo, ir a aplicaciones y seleccionar Fabricación.
- Crear la geometría limitante y establecer o reposicionar e el eje de coordenadas si es necesario.
- Crear herramientas que se vayan a usar.
- Crear las operaciones asociándolas a las herramientas creadas anteriormente.
- Generar las operaciones y comprobar sus resultados.

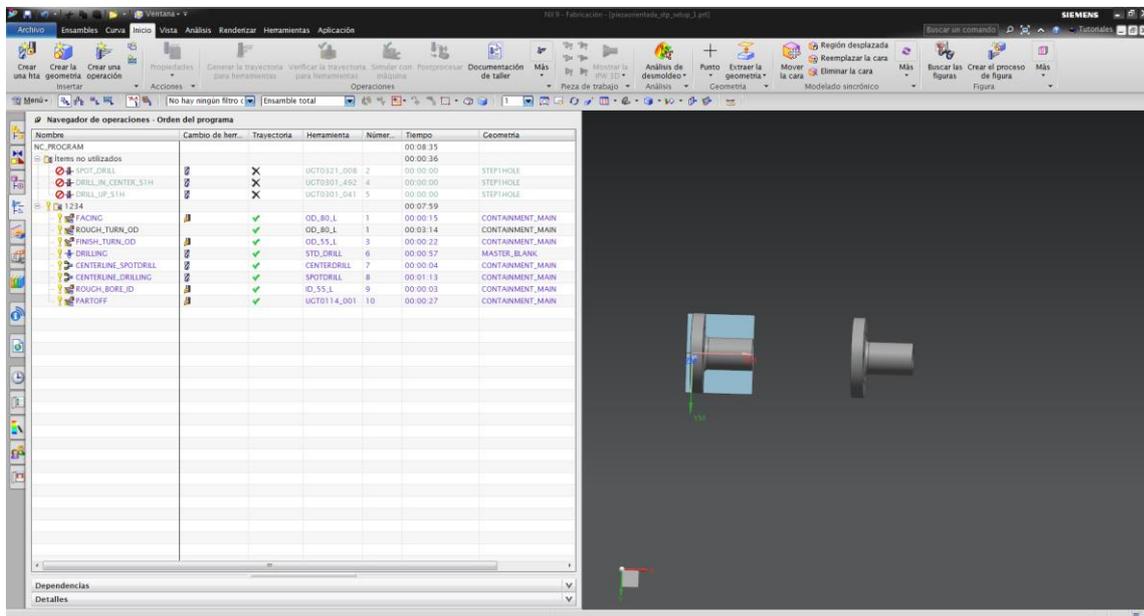


Ilustración 96. Ejemplo pantalla Siemens NX.

8.7. Anexo VII: Parámetros de impresión 3D.

La definición de los distintos parámetros de impresión 3D, a los cuales se les asigna un valor o se especifica una opción para realizar el proceso con las características necesarias, utilizando la información aportada dentro del programa Ultimaker Cura es:

Calidad:

- Altura de capa: Altura de cada capa en mm. Los valores más altos producen impresiones más rápidas con una menor resolución, los valores más bajos producen impresiones más lentas con una mayor resolución.
- Altura de capa inicial: Altura de capa inicial en mm. Una capa inicial más gruesa se adhiere a la placa de impresión con mayor facilidad.
- Ancho de línea: Ancho de una única línea. Generalmente, el ancho de cada línea se debería corresponder con el ancho de la tobera. Sin embargo reducir este valor puede producir mejores impresiones.

Perímetro:

- Grosor de la pared: Grosor de las paredes en dirección horizontal. Este valor dividido por el ancho de la línea de pared define el número de paredes.
- Recuento de líneas de pared: Número de paredes. Al calcularlo por el grosor de las paredes, este valor se redondea a un número entero.
- Distancia de pasada de la pared exterior: Distancia de un movimiento de desplazamiento insertado tras la pared exterior con el fin de ocultar mejor la costura sobre el eje Z.
- Grosor superior: Grosor de las capas superiores en la impresión. Este valor dividido por la altura de capa define el número de capas superiores.
- Capas superiores: Número de capas superiores. Al calcularlo por el grosor superior, este valor se redondea a un número entero.
- Grosor inferior: Grosor de las capas inferiores en la impresión. Este valor dividido por la altura de capa define el número de capas inferiores.
- Capas inferiores: Número de capas inferiores. Al calcularlo por el grosor inferior, este valor se redondea a un número entero.
- Patrón superior / inferior: Patrón de las capas superiores / inferiores.
- Patrón inferior de la capa inicial: El patrón que aparece en la parte inferior de la impresión de la primera capa.
- Optimizar el orden de impresión de paredes: Optimizar el orden de impresión de paredes reduce el número de retracciones y la distancia recorrida.
- Compensar superposiciones de pared: Compensa el flujo en partes de una pared que se están imprimiendo dónde ya hay una pared.

- Rellena espacios entre paredes: rellena espacios entre paredes en los que no encaja ninguna pared.
- Filtrar pequeños huecos: Filtrar pequeños huecos para reducir las gotas en la parte externa del modelo.
- Expansión horizontal: Cantidad de desplazamiento aplicado a todos los polígonos de cada capa. Los valores positivos pueden compensar agujeros demasiado grandes; los valores negativos pueden compensar agujeros demasiado pequeños.
- Expansión horizontal de la capa inicial: Cantidad de desplazamiento aplicado a todos los polígonos de la primera capa. Un valor negativo puede compensar el aplastamiento de la primera capa, lo que se conoce como “pie de elefante”.
- Habilitar de alisado: Pasar por la superficie superior una vez más, pero sin extruir material, para derretir la parte externa del plástico y crear una superficie más lisa.
- Patrón de alisado: El patrón que se usará para el alisado de las superficies superiores.
- Velocidad de alisado: Velocidad a la que pasa por encima de la superficie superior.

Relleno:

- Densidad de relleno: Ajusta la densidad del relleno de la impresión.
- Patrón de relleno: Patrón del material de relleno de la impresión. El relleno de línea y zigzag cambia de dirección en capas alternas, con lo que se reduce el coste del material. Los patrones de rejilla, triángulo, trihexagonal, cúbico, de octeto, cúbico bitruncado y transversal y concéntrico se imprimen en todas las capas por completo. El relleno cúbico, cúbico bitruncado y de octeto cada capa para proporcionar una distribución de fuerza equitativa en cada dirección.

Material:

- Temperatura de impresión: Es la temperatura de impresión del material.
- Temperatura de la placa de impresión: La temperatura utilizada para la placa de impresión caliente. Si el valor es 0, la temperatura de la plataforma no se ajustará.
- Temperatura de la capa de impresión en la capa inicial: Temperatura de la capa de impresión una vez caliente en la primera capa.
- Diámetro: Ajusta el diámetro del filamento utilizado. Este valor debe coincidir con el diámetro del filamento utilizado.
- Flujo: Compensación de flujo, la cantidad de material extruido se multiplica por este valor.
- Habilitar la retracción: Retrae el filamento cuando la tobera se mueve sobre un área no impresa.

- Distancia de retracción: Longitud del material retraído durante un movimiento de retracción.
- Velocidad de retracción: Velocidad a la que se retrae el filamento y se prepara durante un movimiento de retracción.

Velocidad:

- Velocidad de impresión: Velocidad a la que se realiza la impresión.
- Velocidad de relleno: Velocidad a la que se imprime el relleno.
- Velocidad de desplazamiento: Velocidad a la que tienen lugar los movimientos de desplazamiento.
- Velocidad de capa inicial: Velocidad de la capa inicial. Se recomienda un valor más bajo para mejorar la adherencia a la placa de impresión.

Desplazamiento:

- Salto en Z en la retracción: Siempre que se realiza una retracción, la placa de impresión se baja para crear holgura entre la tobera y la impresión. Impide que la tobera golpee la impresión durante movimientos de desplazamiento, reduciendo las posibilidades de alcanzar la impresión de la placa de impresión.

Refrigeración:

- Activar refrigeración de impresión: Habilita ventiladores de refrigeración mientras se imprime. Los ventiladores mejoran la calidad de la impresión en capas con menores tiempos de capas y puentes o voladizos.
- Velocidad de ventilador: Velocidad a la que giran los ventiladores de refrigeración de impresión.

Soporte:

- Generar soporte: Generar estructuras para soportar piezas del modelo que tengan voladizos. Sin estas estructuras, estas piezas se romperían durante la impresión.
- Colocación del soporte: Ajusta la colocación de las estructuras del soporte. La colocación se puede establecer tocando la placa de impresión o en todas partes, las estructuras del soporte también del soporte también se imprimirán en el modelo.
- Ángulo mínimo de los voladizos para los que se agrega soporte: A partir de un valor de 0° todos los voladizos tendrán soporte, a 90° no se proporcionará ningún soporte.
- Patrón del soporte: Patrón de las estructuras del soporte de la impresión. Las diferentes opciones disponibles dan como resultado un soporte robusto o fácil de retirar.

- Densidad del soporte: Ajusta la densidad de la estructura del soporte. Un valor superior da como resultado mejores voladizos pero los soportes son más difíciles de retirar.
- Distancia en Z del soporte: Distancia desde la parte superior / inferior de la estructura de soporte a la impresión. Este hueco ofrece holgura para retirar los soportes tras imprimir el modelo. Este valor se redondea hacia el múltiplo de la altura de la capa.
- Distancia superior del soporte: Distancia de la parte superior del soporte a la impresión.
- Distancia inferior del soporte: Distancia desde la parte inferior del soporte a la impresión.

Adherencia de la placa de impresión:

- Activar gotas de cebado: Cebado o no el filamento con una gota antes de imprimir. Al activar este ajuste se garantiza que el extrusor tendrá material listo en la tobera antes de imprimir. La impresión de borde o falda puede actuar como cebado también, en este caso ahorrará tiempo al desactivar este ajuste.
- Tipo de adherencia de la placa de impresión: Opciones diferentes que ayudan a mejorar tanto la extrusión como la adherencia a la placa de impresión. El borde agrega una zona plana de una sola capa alrededor de la base del modelo para impedir que se deforme. La balsa agrega una rejilla gruesa con un techo por debajo del modelo. La falda es una línea impresa alrededor del modelo, pero que no está conectada al modelo.
- Longitud mínima de falda / borde: Si el número de líneas de falda o borde no alcanza esta longitud, se agregarán más líneas de falda o borde hasta alcanzar esta longitud mínima. Si el número de líneas está establecido en 0, esto se ignora.
- Ancho del borde: Distancia desde el modelo hasta la línea del borde exterior. Un borde mayor mejora la adhesión a la plataforma de impresión, pero también reduce el área de impresión efectiva.

8.8. Anexo VIII: Valores EICV.

Sujeción L.

Categoría de impacto	Unidad de Referencia	Resultado
Acidification potential	kg SO2 eq.	0,164117154
Climate change	kg CO2 eq.	51,11755221
Depletion of abiotic resources	kg antimony eq.	0,000364093
Depletion of abiotic resources	MJ	624,1397414
Eutrophication	kg PO4--- eq.	0,040689334
Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,114287608
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	1,057584217
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	1377,824052
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	9,71567E-09
Photochemical oxidation	kg ethylene eq.	0,010419417
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,036015084

Tabla 73. Valores Categorías de impacto Mecanizado Sujeción L.

Categoría de impacto	Unidad de Referencia	Resultado
Acidification potential	kg SO2 eq.	0,083288405
Climate change	kg CO2 eq.	21,74884506
Depletion of abiotic resources	kg antimony eq.	9,93318E-05
Depletion of abiotic resources	MJ	269,4231973
Eutrophication	kg PO4--- eq.	0,013459738
Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,036832062
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,705817759
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	743,7331022
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	2,68366E-07
Photochemical oxidation	kg ethylene eq.	0,005151182
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,013568319

Tabla 74. Valores Categorías de impacto Fabricación Aditiva Sujeción L.

Categoría de impacto	Unidad de Referencia	Resultado
Acidification potential	kg SO2 eq.	0,047983
Climate change	kg CO2 eq.	14,58786
Depletion of abiotic resources	kg antimony eq.	9,92E-05
Depletion of abiotic resources	MJ	178,4464
Eutrophication	kg PO4--- eq.	0,011283
Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,03161
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,323627
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	406,6319
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	2,53E-08
Photochemical oxidation	kg ethylene eq.	0,003035
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,010128

Tabla 75. Valores Categorías de impacto Inyección Sujeción L.

Sujeción Cónica.

Categoría de impacto	Unidad de Referencia	Resultado
Acidification potential	kg SO2 eq.	0,068867
Climate change	kg CO2 eq.	21,3786
Depletion of abiotic resources	kg antimony eq.	0,000151
Depletion of abiotic resources	MJ	261,0964
Eutrophication	kg PO4--- eq.	0,016952
Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,047597
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,446669
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	578,9246
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	8,57E-09
Photochemical oxidation	kg ethylene eq.	0,00437
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,015032

Tabla 76. Valores Categorías de impacto Mecanizado Sujeción Cónica.

Categoría de impacto	Unidad de Referencia	Resultado
Acidification potential	kg SO2 eq.	0,051701
Climate change	kg CO2 eq.	13,37723
Depletion of abiotic resources	kg antimony eq.	5,91E-05
Depletion of abiotic resources	MJ	165,8521
Eutrophication	kg PO4--- eq.	0,008144
Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,022241
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,443107
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	462,979
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1,74E-07
Photochemical oxidation	kg ethylene eq.	0,003194
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,008284

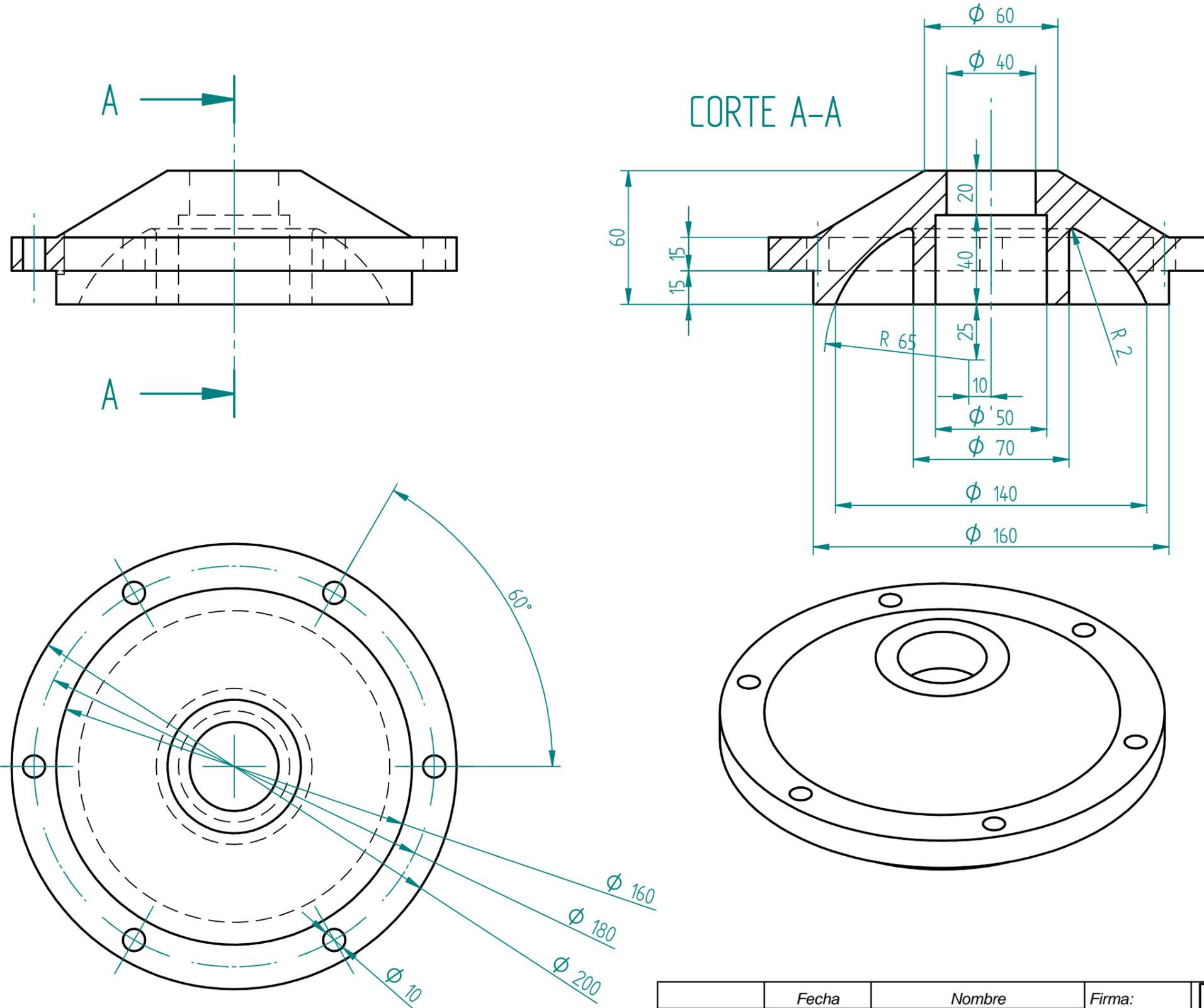
Tabla 77. Valores Categorías de impacto Fabricación Aditiva Sujeción Cónica.

Categoría de impacto	Unidad de Referencia	Resultado
Acidification potential	kg SO2 eq.	0,026727
Climate change	kg CO2 eq.	8,14403
Depletion of abiotic resources	kg antimony eq.	5,56E-05
Depletion of abiotic resources	MJ	99,60446
Eutrophication	kg PO4--- eq.	0,006317
Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,0177
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,179511
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	226,2972
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1,29E-08
Photochemical oxidation	kg ethylene eq.	0,001691
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	0,005662

Tabla 78. Valores Categorías de impacto Inyección Sujeción Cónica.

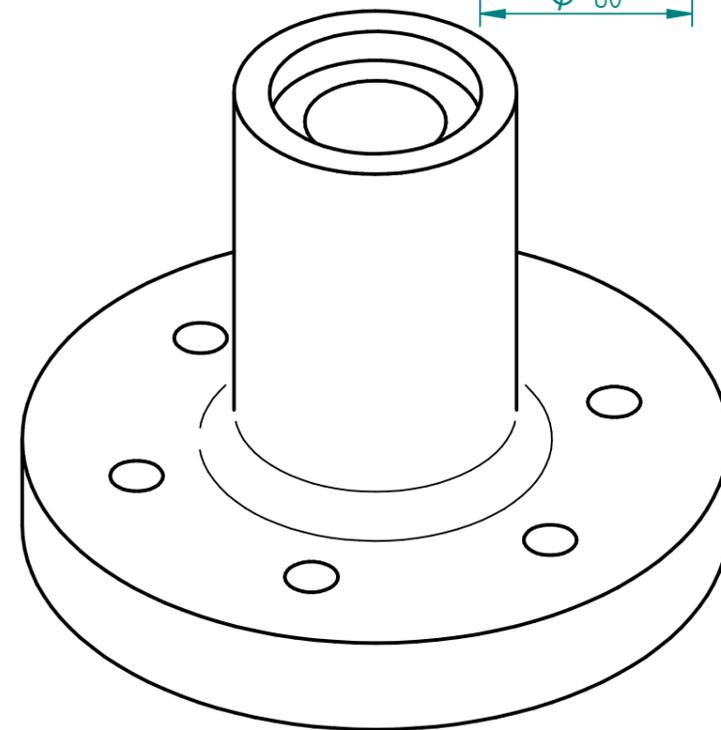
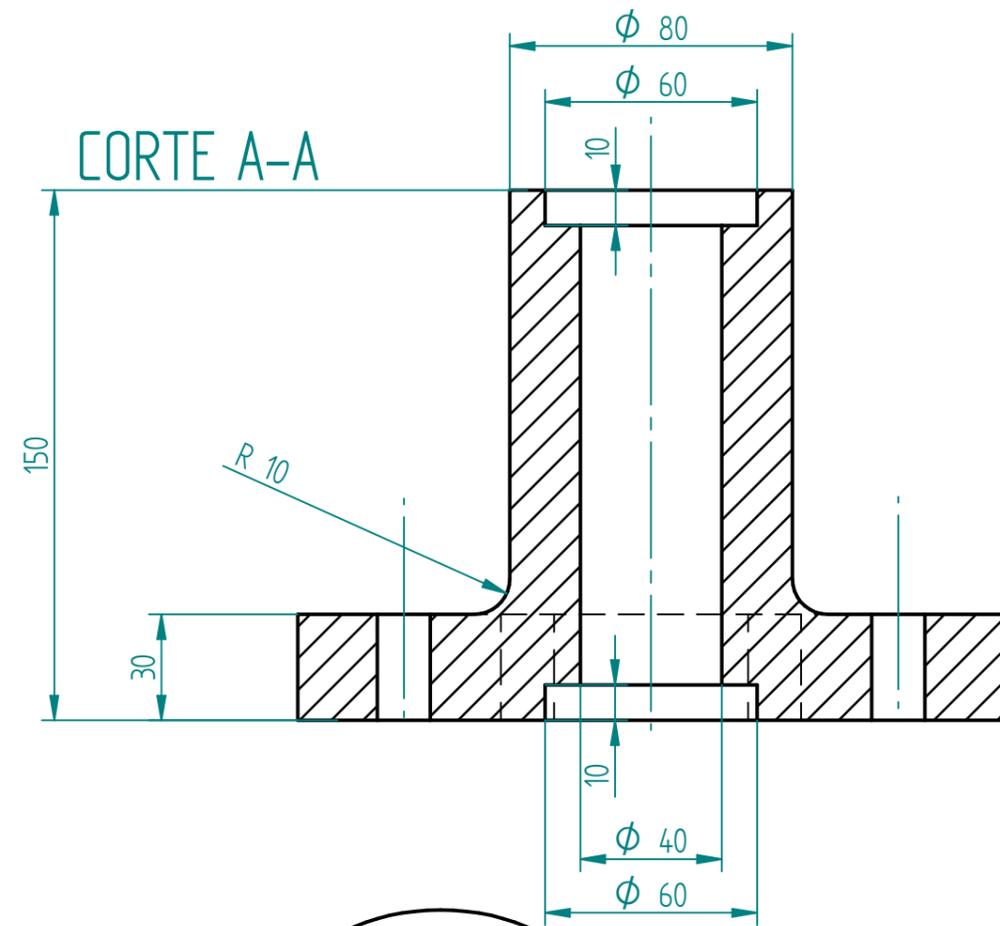
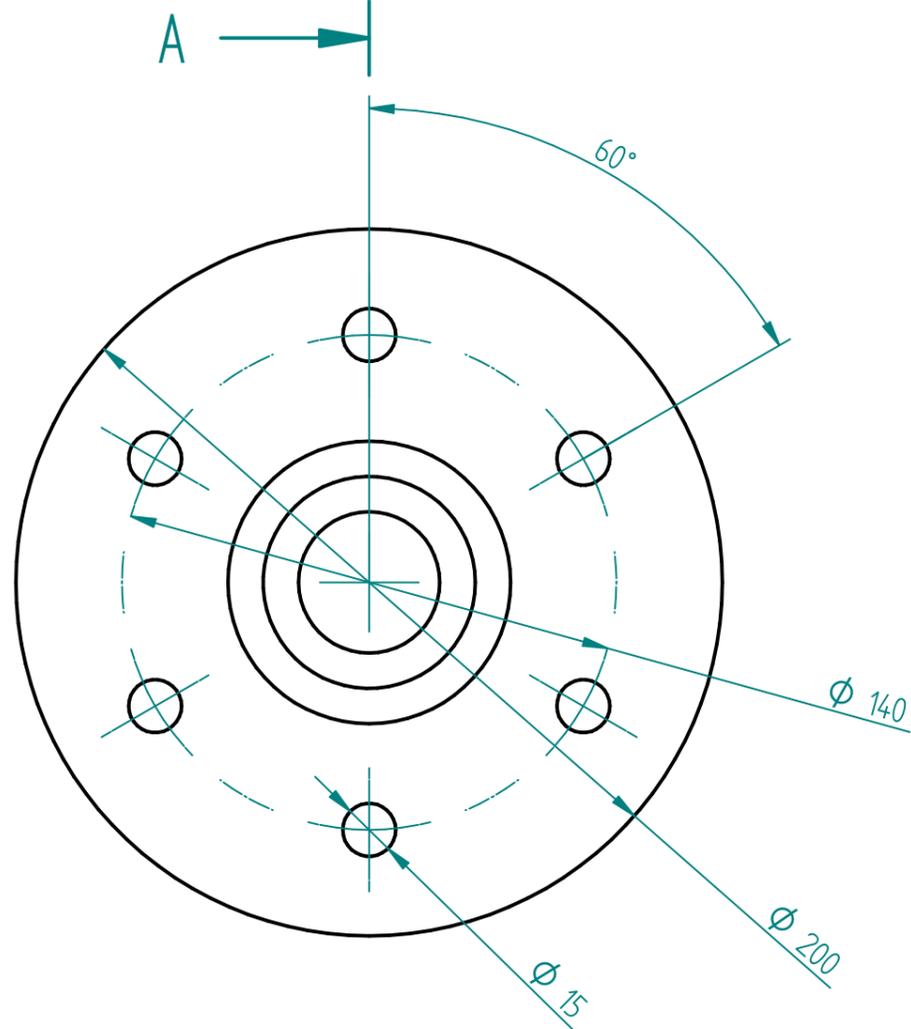
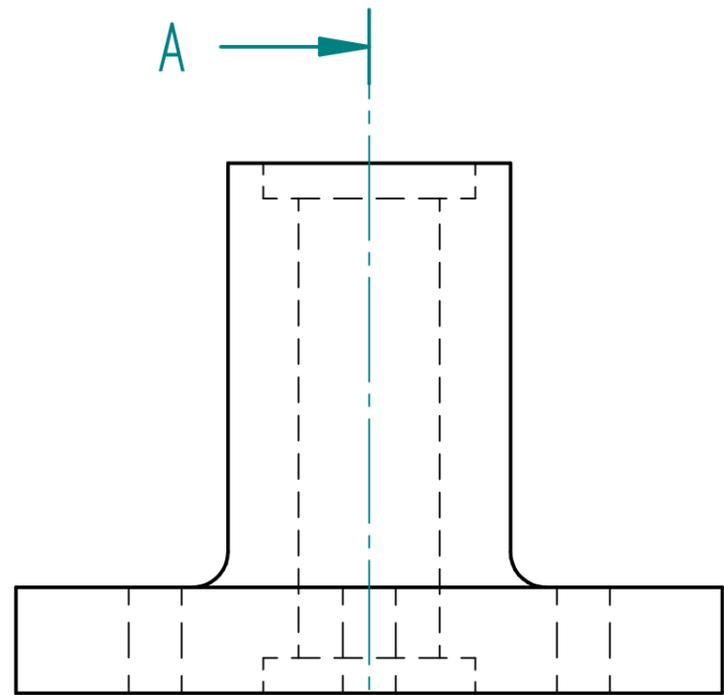
8.9. Anexo IX: Planos de las piezas.

Los planos que definen tanto la Sujeción L como la Sujeción Cónica, se muestran en las siguientes hojas.



	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	19/03/2018	Allfonso Casas Albiñana		
Comprobado	Fecha	José Manuel Paricio Sánchez		Nº Alumno 731275
Escala	Titulo			Año 2017-2018
1:2	Sujeción Cónica			Plano Nº 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	19/03/2018	Allfonso Casas Albiñana		
Comprobado	Fecha	José Manuel Paricio Sánchez		Nº Alumno 731275
Escala	Titulo			Año 2017-2018
1:2	Sujeción L			Plano Nº 2